



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

A b r i l 2 0 • A p r i l 2 0



©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

Nº E28

Edição / Edition

N.º E28, 04/2020

ISSN: 1646-9895

Indexação / Indexing

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Ownership and Publication

AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal

E-mail: aistic@gmail.com

Web: <http://www.aisti.eu>

Director

Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators

Carlos Enrique Montenegro Marin, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO

Victor Hugo Medina Garcia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO

Conselho Editorial / Editorial Board

Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro, PT

Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo, ES

Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Conselho Científico / Scientific Board

A. Augusto Sousa, FEUP, Universidade do Porto, PT

Adolfo Lozano-Tello, Universidad de Extremadura, ES

Adrián Hiebra Pardo, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Adriano Pasqualotti, Universidade de Passo Fundo, BR

Alberto Fernández, Universidad Rey Juan Carlos, ES

Alberto Freitas, FMUP, Universidade do Porto, PT

Alcinia Zita Sampaio, IST, Universidade de Lisboa, PT

Alejandro Medina, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, MX

Alejandro Peña, Escuela de Ingeniería de Antioquia, CO

Alexandre L'Erario, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, BR

Alicia García-Holgado, Universidad de Salamanca, ES

Alma Gomez-Rodríguez, Universidade de Vigo, ES

Ana Amélia Carvalho, Universidade de Coimbra, PT

Ana Azevedo, Instituto Politécnico do Porto, PT

Ana Isabel Veloso, Universidade de Aveiro, PT

Ana Maria Correia, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT

Ana Paula Afonso, Instituto Politécnico do Porto, PT

Anabela Mesquita, Instituto Politécnico do Porto, PT

Anacleto Correia, Escola Naval, PT
Andreia Bos, Instituto Federal do Rio Grande do Sul, BR
Angelica Caro, Universidad del Bío-Bío, CL
Ana Calvão, Universidade de Aveiro, PT
Ana Carla Amaro, Universidade de Aveiro, PT
Ana Melro, Universidade de Aveiro, PT
Ania Cravero, Universidad de La Frontera, CL
Aníbal Zaldivar-Colado, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
Antoni Lluís Mesquida Calafat, Universidad de les Illes Balears, ES
António Coelho, FEUP, Universidade do Porto, PT
Antonio Fernández-Caballero, Universidad de Castilla-La Mancha, ES
António Godinho, ISLA-Gaia, PT
Antonio Jesus Garcia Loureiro, Universidad de Santiago de Compostela, ES
Antonio Jiménez-Martín, Universidad Politécnica de Madrid, ES
António Manuel Andrade, Universidade Católica Portuguesa, PT
António Palma dos Reis, ISEG, Universidade de Lisboa, PT
António Pedro Costa, Universidade de Aveiro, PT
António Pereira, Instituto Politécnico de Leiria, PT
António Teixeira, Universidade de Aveiro, PT
Armando Mendes, Universidade dos Açores, PT
Arnaldo Martins, Universidade de Aveiro, PT
Arturo J. Méndez, Universidad de Vigo, ES
August Climent Ferrer, La Salle Open University, AD
Baltasar García Pérez-Schofield, Universidad de Vigo, ES
Beatriz Rodríguez, Universidad de la Republica, UY
Beatriz Sainz de Abajo, Universidad de Valladolid, ES
Bernabé Escobar-Pérez, Universidad de Sevilla, ES
Borga Bordel, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Boris Almonacid, Global Change Science, CL
Bráulio Alturas, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Brenda L. Flores-Rios, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Brígida Mónica Faria, ESS, Instituto Politécnico do Porto, PT
Carlos Alexandre Silva, Instituto Federal de Minas Gerais, PT
Carlos Costa, Universidade de Aveiro, PT

Carlos Carreto, Instituto Politécnico da Guarda, PT
Carlos Morais, Instituto Politécnico de Bragança, PT
Carlos Vaz de Carvalho, Instituto Politécnico do Porto, PT
Carmen Galvez, Universidad de Granada, ES
Carlos Rabadão, Politécnico de Leiria, PT
Carlos Rompante Cunha, Politécnico de Bragança, PT
Ciro Martins, Universidade de Aveiro, PT
Claudio de la Riva, Universidade de Oviedo, ES
Cristina M.R. Caridade, ISEC, Politécnico de Coimbra, PT
Daniel Polónia, Universidade de Aveiro, PT
David Fonseca, Universitat Ramon Llull, ES
David Luis La Red Martínez, Universidad Nacional del Nordeste, AR
David Ramos Valcarcel, Universidad de Vigo, ES
Debora Paiva, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, BR
Diana Lancheros-Cuesta, Universidad de La Salle / Universidad Cooperativa de Colombia, CO
Diego Ordóñez-Camacho, Universidad Tecnológica Equinoccial, EC
Dora Simões, Universidade de Aveiro, PT
Edna Dias Canedo, Universidade de Brasília, BR
Eduardo Amadeu Dutra Moresi, Universidade Católica de Brasília, BR
Eduardo Sánchez Vila, Universidad de Santiago de Compostela, ES
Emiliano Reynares, CIDISI - UTN FRSF - CONICET, AR
Enric Mor, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Erika Upegui, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Eusébio Ferreira da Costa, Escola Superior de Tecnologias de Fafe, PT
Fábio Marques, Universidade de Aveiro, PT
Feliz Gouveia, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Bandeira, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Bobillo, Universidad de Zaragoza, ES
Fernando Moreira, Universidade Portucalense, PT
Fernando Paulo Belfo, ISCAC, Politécnico de Coimbra, PT
Fernando Ramos, Universidade de Aveiro, PT
Fernando Ribeiro, Politécnico de Castelo Branco, PT
Filipe Caldeira, Politécnico de Viseu, PT

Filipe Montargil, Politécnico de Lisboa, PT
Filipe Portela, Universidade do Minho, PT
Francisco Javier Lena-Acebo, Universidad de Cantabria, ES
Francisco Restivo, Universidade Católica Portuguesa, PT
Franyelit María Suárez, Universidad UTE, EC
Gabriel Alberto García-Mireles, Universidad de Sonora, MX
Gabriel Guerrero-Contreras, Universidade de Cádiz, ES
Gerardo Gonzalez Filgueira, Universidad da Coruña, ES
Germano Montejano, Universidad Nacional de San Luis, AR
Guilhermina Lobato Miranda, Universidade de Lisboa, PT
Hélder Gomes, Universidade de Aveiro, PT
Hélder Zagalo, Universidade de Aveiro, PT
Helena Garbarino, Universidad ORT Uruguay, UY
Hélia Guerra, Universidade dos Açores, PT
Henrique S. Mamede, Universidade Aberta, PT
Higino Ramos, Universidad de Salamanca, ES
Inês Domingues, CI-IPOP, PT
Isabel Pedrosa, Instituto Politécnico de Coimbra, PT
Isabel Lopes, Politécnico de Bragança, PT
Isaura Ribeiro, Universidade dos Açores, PT
Isidro Calvo, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ismael Etxeberria-Agiriano, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ivaldir de Farias Junior, Universidade de Pernambuco, BR
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
João Paulo Ferreira, ISEC, Politécnico de Coimbra, PT
João Reis, Universidade de Aveiro, PT
João Roberto de Toledo Quadro, CEFET/RJ, BR
Jacinto Estima, Universidade Europeia, PT
Javier Garcia Tobio, CESGA-Centro de Supercomputacion de Galicia, ES
Javier Medina, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Jeimy Cano, Universidad de los Andes, CO
Jezreel Mejia, Centro de Investigación en Matemática (CIMAT), MX
João Balsa, FC, Universidade de Lisboa, PT
João Paulo Costa, Universidade de Coimbra, PT

João Rocha da Silva, FEUP, Universidade do Porto, PT
João Tavares, FEUP, Universidade do Porto, PT
Joaquim Ferreira, Universidade de Aveiro, PT
Joaquim Madeira, Universidade de Aveiro, PT
Joaquim Pinto, Universidade de Aveiro, PT
Joaquim Reis, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Jorge Bernardino, ISEC, Politécnico de Coimbra, PT
Jorge da Silva Correia-Neto, Universidade Federal Rural de Pernambuco, BR
Jorge Pires, IBM R&D Labs - Prague, CZ
Jose Alfonso Aguilar, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
José Alvarez-Garcia, Universidad de Extremadura, ES
José Borbinha, IST, Universidade de Lisboa, PT
José Braga de Vasconcelos, Universidade Atlântica, PT
José Carlos Ribeiro, Politécnico de Leiria, PT
José Cascalho, Universidade dos Açores, PT
José Felipe Cocón Juárez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
Jose J. Pazos-Arias, Universidad de Vigo, ES
José Luis Pardo Díaz, Global School of Business. Empowement and Entrepreneursip, ES
José Luís Pereira, Universidade do Minho, PT
José Luís Silva, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), PT
José Paulo Lousado, Instituto Politécnico de Viseu, PT
José Luis Pestrana Brincones, Universidad de Málaga, ES
José Luís Reis, ISMAI - Instituto Superior da Maia, PT
Jose M Molina, Universidad Carlos III de Madrid, ES
José Machado, Universidade do Minho, PT
Jose Maria Alvarez Rodríguez, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose Maria de Fuentes, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose R. R. Viqueira, Universidade de Santiago de Compostela, ES
José Silvestre Silva, Academia Militar, PT
José Torres, Universidade Fernando Pessoa, PT
Josep M. Marco-Simó, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Juan Angel Contreras Vas, Universidad de Extremadura, ES
Juan D'Amato, PLADEMA-UNCPBA-CONICET, AR

Juan M. Santos Gago, Universidad de Vigo, ES
Juan Manuel Fernández-Luna, Universidad de Granada, ES
Jugurta Lisboa-Filho, Universidade Federal de Viçosa, BR
Leila Weitzel, Universidade Federal Fluminense, BR
Leonardo Bermon, Universidad Nacional de Colombia, CO
Leticia Morales Trujillo, Universidad de Sevilla, ES
Lucila Ishitani, PUC Minas, BR
Lucila Romero, Universidad Nacional del Litoral, AR
Luis Alvarez Sabucedo, Universidad de Vigo, ES
Luís Bruno, Instituto Politécnico de Beja, PT
Luís Cavique, Universidade Aberta, PT
Luis Chamba Eras, Universidad Nacional de Loja, EC
Luís Ferreira, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Luis Enrique Sánchez Crespo, Universidad de Castilla-La Mancha, ES
Luis Vilán-Crespo, Universidad de Vigo, ES
Luisa María Romero-Moreno, Universidad de Sevilla, ES
Luisa Miranda, Instituto Politécnico de Bragança, PT
Lus Sussy Bayona Ore, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PE
Magdalena Arcilla Cobián, Universidade Nacional de Educación a Distancia, ES
Manuel Fernández-Veiga, Universidad de Vigo, ES
Manuel Jose Fernandez Iglesias, Universidad de Vigo, ES
Marcelo Marciszack, Universidad Tecnológica Nacional, AR
Marcelo de Paiva Guimarães, Universidade Federal de São Paulo, BR
Marco Painho, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Mari de los Milagros Gutierrez, Universidad Tecnológica Nacional, AR
Maria Amelia Eliseu, Mackenzie Presbyterian University, BR
Maria Cecília Rosa, Politécnico da Guarda, PT
Maria Cristina Marcelino Bento, UNIFATEA, BR
Maria do Rosário Bernardo, Universidade Aberta, BR
Maria Helena Garcia Ruiz, Universidad de Cantabria, ES
María J. Lado, Universidad de Vigo, ES
Maria João Ferreira, Universidade Portucalense, PT
Maria João Gomes, Universidade do Minho, PT
Maria José Angélico, Instituto Politécnico do Porto, PT

Maria José Sousa, Universidade Europeia, PT
Marisol B. Correia, Universidade do Algarve, PT
Maristela Holanda, Universidade de Brasília, BR
Martín Llamas Nistal, Universidad de Vigo, ES
Martín López Nores, Universidad de Vigo, ES
Matías García Rivera, Universidad de Vigo, ES
Mercedes Ruiz, Universidad de Cádiz, ES
Miguel A. Brito, Universidade do Minho, PT
Miguel Bugalho, Universidade Europeia, PT
Miguel Casquilho, IST, Universidade de Lisboa, PT
Mirna Ariadna Muñoz Mata, Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), MX
Nelson Rocha, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Lau, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Melão, Politécnico de Viseu, PT
Nuno Ribeiro, Universidade Fernando Pessoa, PT
Oscar Mealha, Universidade de Aveiro, PT
Patrícia Cabral de Azevedo Tedesco, Universidade Federal de Pernambuco, BR
Patricia Dias, Universidade do estado de Minas Gerais, BR
Patrícia Oliveira, Universidade de Aveiro, PT
Paula Prata, Universidade da Beira Interior, PT
Paulo Martins, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Paulo Pinto, FCT, Universidade Nova de Lisboa, PT
Paulo Rurato, Universidade Fernando Pessoa, PT
Paulo Urbano, FC, Universidade de Lisboa, PT
Pedro Araújo, Universidade da Beira Interior, PT
Pedro Fernandes, Instituto Superior Miguel Torga, PT
Pedro Sánchez Palma, Universidad Politécnica de Cartagena, ES
Pedro Sanz Angulo, Universidad de Valladolid, ES
Pedro Sobral, Universidade Fernando Pessoa, PT
Pedro Sousa, Universidade do Minho, PT
Pilar Mareca Lopez, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Rui Rodrigues, Instituto Superior Miguel Torga, PT
Ramiro Delgado, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Ramon Alcarria, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Raul Laureano, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Ricardo J. Rodríguez, Universidad de Zaragoza, ES
Ricardo Linden, FSMA, BR
Rita Oliveira, Universidade de Aveiro, PT
Rita Santos, Universidade de Aveiro, PT
Roberto Theron, Universidad de Salamanca, ES
Rodolfo Miranda Barros, Universidade Estadual de Londrina, BR
Rodrigo Rocha Silva, Universidade de Coimbra, PT
Rogerio Garcia, Universidade Estadual Paulista, BR
Román Lara, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Rubén González Crespo, Universidad Internacional de La Rioja, ES
Rui Cruz, IST, Universidade de Lisboa, PT
Rui José, Universidade do Minho, PT
Rui Pedro Marques, Universidade de Aveiro, PT
Rui Pitarma, Politécnico da Guarda, PT
Rui S. Moreira, Universidade Fernando Pessoa, PT
Rute Abreu, Politécnico da Guarda, PT
Samuel Sepúlveda, Universidad de La Frontera, CL
Samuel Silva, Universidade de Aveiro, PT
Santiago Gonzales Sánchez, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, PE
Sara Balderas-Díaz, Universidad de Cádiz, ES
Sara Paiva, Politécnico de Viana do Castelo, PT
Saulo Barbara de Oliveira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR
Sérgi F. Lopes, Universidade do Minho, PT
Sergio Gálvez Rojas, Universidad de Málaga, ES
Sérgio Guerreiro, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, PT
Sérgio Nunes, ISEG, Universidade de Lisboa, PT
Silvia Fernandes, Universidade do Algarve, PT
Solange N Alves de Souza, Universidade de São Paulo, BR
Telmo Silva, Universidade de Aveiro, PT
Teresa Guarda, Universidad Estatal Península de Santa Elena, EC
Thiago Dias, CEFET-MG, BR
Valéria Farinazzo Martins, Universidade Presbiteriana Mackenzie, BR
Vania Baldi, Universidade de Aveiro, PT

Verónica Vasconcelos, ISEC, Politécnico de Coimbra, PT
Victor Flores, Universidad Católica del Norte, CL
Victor Hugo Medina Garcia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Vitor Carvalho, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Vitor Santos, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Wagner Tanaka Botelho, Universidade Federal do ABC, BR
Xose A. Vila, Universidad de Vigo, ES

Editorial

Espacios de solución a problemas en la edad contemporánea

Spaces for solving problems in the contemporary age

Carlos Enrique Montenegro Marin¹, Victor Hugo Medina Garcia¹

cemontenegrom@udistrital.edu.co, vmedina@udistrital.edu.co

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Carrera 7 No. 40B – 53, Bogotá, Colombia.

Pages: xi–xii

Introdução

Actualmente los desarrollos en el área de tecnologías han tomado mayor relevancia, tanto es así, que a nivel mundial el área que más empleabilidad genera es el de tecnología, desde nuevos desarrollos a nivel de hardware, hasta metodologías que agilicen la entrega de productos finales, pasando por las diversas áreas de conocimiento como el análisis de datos, los datos abiertos, la usabilidad, el desarrollo, la interfaces humano computador, y otras áreas que permean las nuevas revoluciones tecnológicas en el mundo, han demostrado que generar espacios de debate y retroalimentación para socializar las nuevas investigaciones emergentes son necesarias, es allí en donde la comunidad académica agradece iniciativas como las generadas por la Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, espacios en los que se socializan las nuevas investigaciones que proclaman ser la respuesta en muchas ocasiones a problemas de la sociedad actual.

En la actualidad los problemas que emergen son cada vez más complicados, nos enfrentamos a grandes retos como el cambio climático, la generación de energía mediante mecanismos renovables, una sociedad sostenible, lo globalización, hay tantos retos que los investigadores a nivel mundial deben propiciar soluciones creativas e innovadoras a todos estos, es precisamente aquí en donde los espacios como los que la Revista Ibérica

de Sistemas y Tecnologías de la Información genera, son espacios importantes para socializar a toda la comunidad los avances en la consecución de soluciones a todos esos problemas.

Es aquí, en estos espacios que requieren toda la rigurosidad del método científico en donde se vislumbran los grandes cambios que serán aplicados para dar solución a los problemas actuales, soluciones que por su severidad en los métodos de validación garantizan un éxito en su implementación.

Esta edición de la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información agradece a todos los autores, por sus aportes que presentan una serie de artículos enfocados precisamente a solucionar problemas usando tecnologías de punta en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

Índice / Index

EDITORIAL

Espacios de solución a problemas en la edad contemporánea.....	xi
<i>Carlos Enrique Montenegro Marin, Victor Hugo Medina Garcia</i>	

ARTIGOS / ARTICLES

Promovendo a Aprendizagem Ativa por meio da estratégia Jigsaw: experiências com Liquid Galaxy	1
<i>Marc Gonzàlez Capdevila, Ismar Frango Silveira, Valéria Farinazzo Martins</i>	
Classificação do sinal mioelétrico utilizando <i>Support Vector Machine</i> e o modelo de Rede Neural <i>Multilayer Perceptron</i>	15
<i>Gleidson Leite da Silva, Francisco de Assis Brito Filho</i>	
Modelo conceptual de factores y su influencia en los niveles de desarrollo del e-gobierno municipal	28
<i>Vicente Morales, Sussy Bayona</i>	
Uso de PBL no ensino de IoT: Um Relato de Experiência	42
<i>Bruno da Silva Rodrigues, Valéria Farinazzo Martins</i>	
Propuesta metodológica para generar mapas de cobertura de la tierra a partir de imágenes de radar ALOS/PALSAR: Estudio de caso Mompós, Colombia.....	56
<i>Brian Valencia, Erika Upegui</i>	
Automatización de bajo costo para integración de sistemas distribuidos basado en OPC UA e ISA-95	69
<i>Gustavo Caiza, Jairo D. Llamuca, Jaime R. Guilcapi, Carlos A. Garcia, Marcelo V. Garcia</i>	
Caracterización de las prácticas de DevOps en organizaciones que desarrollan software: Un mapeo sistemático de literatura.....	83
<i>Jose Daniel Sánchez Castillo, Alexandra Martínez, Christian Quesada-López, Marcelo Jenkins</i>	
Uso de técnicas de minería de datos y aprendizaje automático para la detección de fraudes en estados financieros: un mapeo sistemático de literatura	97
<i>Alex Ramírez-Alpízar, Marcelo Jenkins, Alexandra Martínez, Christian Quesada-López</i>	
DANDELION: Propuesta metodológica para recopilación y análisis de información de artículos científicos. Un enfoque desde la bibliometría y la revisión sistemática de la literatura.	110
<i>M. Alexandra Espinosa C., Efrén Romero R., Leidy Y. Flórez G., Cesar D. Guerrero</i>	
Un punto de vista de evaluación de la calidad para las herramientas de modelado de características	123
<i>Alonso Bobadilla Montoya, Samuel Sepúlveda Cuevas</i>	

Ecosistema Virtual Gamificado de Francisco José de Caldas	139
<i>Ana María Caviedes Castillo, Víctor Rene Zuleta Chantre, Eleonora Palta Velasco, Katerine Márceles Villalba</i>	
Escenario Virtual Gamificado Para La Difusión Del Turismo En Zonas De Postconflicto Del Departamento Del Cauca	151
<i>Ada Natali Bolaños Sánchez, Cristian Camilo Betancourt Ledezma, Eleonora Palta Velasco, Maria Isabel Vidal Caicedo</i>	
Aplicação do método PROMETHEE II para seleção de empresas que empregam produtos químicos controlados pela OPAQ.....	163
<i>Priscilla de Araújo Farias, Marcos Lopes do Nascimento, Ana Carla Bittencourt, Reis, Simone Borges Simão Monteiro, Ari Melo Mariano</i>	
Blockchain para gerenciamento de prontuários eletrônicos.....	177
<i>Caroline Viana, Alexandre Brandão, Diego Dias, Gabriela Castellano, Marcelo de Paiva Guimarães</i>	
Previsão do abandono acadêmico numa instituição de ensino superior com recurso a <i>data mining</i>	188
<i>Maria P. G. Martins, Vera L. Migueis, D. S. B. Fonseca, Paulo D. F. Gouveia</i>	
Apoio à Reabilitação de Pacientes Utilizando Dispositivo de Reconhecimento de Gestos	204
<i>Sergio Godoy¹, Alexandre Brandão, Diego Dias, Gabriela Castellano, Marcelo P. Guimarães</i>	
Sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan inteligencia artificial en la agricultura de precisión: un mapeo sistemático de literatura.....	217
<i>José A. Brenes, Alexandra Martínez, Christian Quesada-López, Marcelo Jenkins</i>	
Implementación de un plano Wavelet de escalamiento utilizado durante el proceso de fusión de imágenes Ikonos, a partir de la descomposición à trous.....	230
<i>Giselle Helena Toro Garay, Javier Median Daza</i>	
Análise de decisão para selecionar uma solução de nuvem corporativa.....	244
<i>Ana Carla Bittencourt Reis, Leonardo dos Santos Dourado, Francisco Firmino da Nóbrega</i>	
Creencias de ineficacia, fatiga y ansiedad computacional: un estudio exploratorio en secretarias de oficina	258
<i>Cristian Salazar-Concha, Roberto Parra-Arias, Luis Olivera-Ampuerto, Luis J. Camacho, Patricio Ramirez-Correa</i>	
Sistema Automatizado Baseado em FPGA para Eletro-Oculograma Clínico.....	272
<i>Wisla M. M. Oliveira, Nayana L. M. Viana, Francisco A. Brito-Filho</i>	
Representación de requisitos de seguridad en BPMN: una Revisión Sistemática de la Literatura	286
<i>Leonel Muñoz-Vergara, Alfonso Rodríguez, Angélica Caro</i>	

Dispositivo portátil com cúpula de Ganzfeld impressa em tecnologia 3D para auxílio ao diagnóstico de doenças oculares através do Eletro-oculograma clínico	299
<i>Beatriz M. Santos, Aleandro S. Oliveira, Nayana L. M. Viana, Francisco A. Brito Filho</i>	
HSSMatch: Modelo Híbrido para Semantic Schema Matching em Arquiteturas Orientadas a Microsserviços	312
<i>Paulo Renato Soares Borges, Ismar Frango Silveira</i>	
CIRM en el contexto de e-government Municipal: Una Revisión Sistemática de Literatura	324
<i>Daniel Carrasco, Angélica Caro, Alfonso Rodríguez</i>	
Avaliação da robotica educacional no aprendizado de alunos de escolas públicas	337
<i>Alysson de Souza Lemos, Francisco de Assis Brito Filho</i>	
Determinación de procesos de remoción en masa utilizando técnicas de inteligencia computacional	344
<i>Julieth N. Acosta A., Erika S. Upegui</i>	
Hacia la modelación de un sistema social dinámico y complejo para el apoyo en el incremento de la competitividad de la Educación Superior	360
<i>Consuelo Salgado Soto, Felipe Lara-Rosano</i>	
Desarrollo tecnológico del IoT en el sector de la agricultura: una visión desde el análisis de patentes	375
<i>Saúl F. Mejía S., Leidy Y. Flórez G., Cesar D. Guerrero S.</i>	
El rol de los modelos en el aprendizaje organizacional y el diseño de políticas	386
<i>Gabriel Mauricio Martínez Toro, Gerly Carolina Ariza Zabala, Andrés Rey Piedrahita</i>	
A importância do estudo da legislação de pessoal no levantamento de requisitos de software de folha de pagamento no serviço público brasileiro.....	399
<i>Priscila Galeno, Kelly de F. Costa, Valmi A. de Sousa, Alexandre de O. Kruger, Gabriel de O. Alves, Rafael T. de Sousa Jr.</i>	
Utilizando robótica para permitir a experiência musical de crianças surdas por meio da vibração: visão prática.	412
<i>Cristiano da Silva Benites, Ismar Frango Silveira</i>	
Desarrollando de habilidades blandas en etapas tempranas en la formación de Ingenieros de Software	423
<i>Elizabeth Vidal, Ricardo Gacitúa, Mauricio Dieguez</i>	
Modelo semántico para trayectorias de regiones en movimiento.....	437
<i>Alvaro Enrique Ortiz, Luz Angela Rocha, Rubén Javier Medina</i>	

Implementación de e-servicios por niveles de desarrollo en el e-gobierno municipal: Estudio de casos.....	450
<i>Vicente Morales, Sussy Bayona</i>	
Optimización del filtrado colaborativo basado en factorización matricial mediante la relevancia de las preferencias de los usuarios.....	465
<i>Priscila Valdiviezo-Díaz, Fernando Ortega, Jesús Mayor, Francisco Pajuelo-Holguera</i>	
Uma Proposta de Incubadora Multissensorial para Neonatos no Contexto do Sistema de Saúde Brasileiro: Das Práticas Médicas com o Robô <i>Premature</i> <i>Anne</i> às Possibilidades de Transformação em Produto de Baixo Custo	479
<i>João Benedito dos Santos Junior, Letícia de Almeida Reche, Julia Pereira Soares, Norma Ávila, Núbia Samara Maia, Antônio Ângelo Rocha, Thatia Regina Bonfim, Mayra Loures de Oliveira</i>	
Acesso à Internet em períodos recessivos: O caso do Brasil	486
<i>Thiago Christiano Silva, Florângela Cunha Coelho, Philipp Ehrl, Benjamin Miranda Tabak</i>	
Aplicación web para la gestión de diplomas digitales en centros de capacitación mediante firma electrónica y blockchain	498
<i>Eduardo Fernandez, Josselyne Gutierrez, Ramiro Delgado, Roberto Lopez</i>	
Plataforma de hardware de baixo custo para ensino de conceitos em Internet das Coisas	510
<i>Paulo Henrique Sabo, André Kawamoto, Rafael Liberato, Paulo Cardieri</i>	
Simulador de Subcamada MAC para protocolos do tipo <i>polling</i>	520
<i>Paulo Henrique Sabo, Paulo Cardieri</i>	
Asistente Inteligente de Conducción Autónoma para Evitar Obstáculos y Colisiones	530
<i>Santiago J. Cachumba, Pablo A. Briceño, Víctor H. Andaluz, Germán Erazo</i>	
La escala de Competencia Digital y uso de Recursos Educativos Abiertos (CD-REA): factores asociados a la competencia de los docentes universitarios bimodales	545
<i>Celia Paola Sarango-Lapo, Juanjo Mena, María-Soledad Ramírez-Montoya, Eulogio Real</i>	
OntoSSR: Una solución para diseño estándar de sistemas de información en el dominio de salud sexual y reproductiva	559
<i>Erika Gallego, Helder Castrillón, Leydi Erazo, Francisco Obando</i>	
Prototipos de Lenguaje de Dominio Específico para consulta de configuraciones de dispositivos en redes como estándar basado en Ingeniería Dirigida por Modelos.....	572
<i>Franklin Guillermo Montenegro Marin, Karen Eliana Angarita Casas, Daniel Felipe Garzón Triana, Carlos Enrique Montenegro-Marin, Paulo Alonso Gaona Garcia</i>	

Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo	586
<i>Esperanza Manrique Rojas</i>	
Modelo conceptual de desarrollo de e-Gobierno para las municipalidades	600
<i>Vicente Morales, Sussy Bayona</i>	
Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas: Una apuesta a la competitividad desde alianzas entre gobierno, academia y sector productivo	615
<i>Cesar D. Guerrero, Dewar Rico-Bautista</i>	
Red de sensores de sistemas de posicionamiento global para la georreferenciación de puntos terrestres	629
<i>Andrés Camilo Gonzalez, PhD Elvis Eduardo Gaona, MsC. Víctor Daniel Angulo</i>	
Explorando antecedentes y consecuencias del Éxito de los Sistemas de Información sobre el Recurso Humano en Establecimientos Educativos	642
<i>Sergio Araya-Guzmán, Patricio Ramírez-Correa, Margarita Chiang Vega, Jorge Alfaro-Pérez</i>	
Evaluación del modelo de predicción de objetivos de sesión de captura de requisitos de software	654
<i>Dante Carrizo, Jacqueline Manriquez</i>	
Software educacional para estudio de Entomología Básica, utilizando inteligencia artificial	668
<i>Marcos Vinícius de Souza Toledo, Bruno de Souza Toledo, Karina Dutra de Carvalho Lemos, Luiz Cláudio Gomes Maia</i>	
Evaluando contribuciones de usabilidad en soluciones TIC-IOT para la agricultura: Una perspectiva desde la bibliometría	681
<i>M. Dayahna Caro M., Efrén Romero R., M. Alexandra Espinosa C, Cesar D. Guerrero</i>	
Herramienta para la personalización y cálculo de métricas de código utilizando análisis estático: SCAT	693
<i>Daniel Guamán, Jennifer Pérez, Roddy Correa</i>	
Universidad inteligente: Mapa estratégico desde la adopción de tecnología	711
<i>Dewar Rico-Bautista, Yurley Medina-Cárdenas, Luis Anderson Coronel-Rojas, Fabian Cuesta-Quintero, Edwin Barrientos-Avenidaño, Ricardo Andrés García León, Gina Paola Maestre-Góngora</i>	
Módulo: Osciloscopio, Generador de Señales y Analizador de Espectro de Frecuencia con tecnología de Bajo Costo	725
<i>Christian Chasi Cajas, Jefferson De la Cruz, Amparo Meythaler Naranjo, Marco Pilatasig Panchi</i>	
Big Data em Healthcare – um Estudo Bibliométrico	739
<i>Ronaldo Rodrigues Pacheco, Talita Rocha da Silva, Gabriela Franco, Ari Melo Mariano, Ana Carla Bittencourt Reis</i>	

Hacia un modelo de evaluación de la preparación de datos abiertos en instituciones de educación superior colombianas	752
<i>Mariutsi Alexandra Osorio-Sanabria, Ferney Amaya-Fernández, Mayda Patricia González-Zabala</i>	
Plataforma Unificada de Metodología Ativa (PUMA): um projeto multidisciplinar	766
<i>Simone Borges Simão Monteiro, Ana Cristina Fernandes Lima, Ari Melo Mariano, Everaldo Silva Júnior</i>	
Análisis de Tiempos Estándar en Empresas de Ensamble como insumo para la toma de decisiones	779
<i>Daniela Apolo, Rodrigo Guamán, Eliezer Colina-Morles, Alejandra Luzuriaga, Lorena Siguenza-Guzman*</i>	
Tendencias investigativas en simulación de sistemas complejos adaptativos: Un análisis bibliométrico	791
<i>Juan Camilo Patiño-Vanegas, Martha Luz Benjumea-Arias, Jhoany Alejandro Valencia-Arias, Luis Fernando Garcés-Giraldo</i>	
Optimización de tiempos utilizando realidad aumentada para la industria de la moda	806
<i>Ricardo Herrera, Diego Araujo, Graciela Guerrero, Freddy Tapia</i>	
Un enfoque de Machine Learning en el desarrollo de Sistema Recomendadores para Procesos de Investigación	816
<i>Moya Danilo, Tapia Liliana, Albán Mayra, Rodríguez Gustavo</i>	
Gestión de proyectos mediante el análisis de la confianza en redes sociales digitales	828
<i>Liliana Pantoja, Nelson Pérez, Gabriel Moreno</i>	
Diseño de simulador social para la identificación de características y tipos de personalidad de estudiantes universitarios.....	843
<i>Margarita Ramírez Ramírez, Felipe Lara-Rosano, Luis Manuel Cerdá Suárez</i>	
Modelo de evaluación basado en evidencia para estimar el desarrollo del Pensamiento Computacional	856
<i>Laura Orozco-García, Carolina González</i>	
Análisis de aprendizaje computacional aplicado a la contratación: Caso Instituto Colombiano de Bienestar Social	870
<i>Oscar Leonardo Cely Granados, Octavio Salcedo Parra, Víctor Hugo Medina García</i>	
Hacia el desarrollo de un modelo para un simulador social computacional como estrategia de apoyo y prevención de las adicciones en Tijuana, BC. México.	883
<i>Nora Osuna-Millán, Felipe Lara-Rosano, Juan Meza-Fregoso, Ricardo Rosales</i>	
Propuesta De Un Marco General Para El Despliegue De Ciudades Inteligentes Apoyado En El Desarrollo De IoT En Colombia.....	894
<i>Angela Tatiana Zona-Ortiz, Carlos Hernán Fajardo-Toro, Clara Milena Aguilar Pirachicán</i>	

Metodología Para Toma De Decisiones Gerenciales En Infraestructuras IT	908
<i>Carlos Hernán Fajardo-Toro, Angela Tatiana Zona-Ortiz, Wiber Eduardo Fuentes Camacho</i>	
Aplicação das Tecnologias de Interação Natural, Virtualidade e Transparência ao Tratamento de Traumas Causados pela Violência: um Estudo de Caso	921
<i>Rosa A.S.M. da Motta, Altemar Sales de Oliveira, Saulo B. de Oliveira, Viviane F. do Nascimento, Gerson G. Cunha, Sandro Luis F. de C. Silva</i>	
Las TIC y rendimiento académico en la educación superior: Una relación potenciada por el uso del Padlet	934
<i>Mariuxi Pardo-Cueva, Laura Magali Chamba-Rueda, Ángel Higuerey Gómez, Byron Gustavo Jaramillo-Campoverde</i>	
Dimensiones de competencia digital en docentes universitarios: análisis relacional basado en componentes	945
<i>David Alberto García Arango, Jorge Eliécer Villarreal Fernández, José Antonio Ortega Carrillo, Óscar Andrés Cuéllar Rojas, César Felipe Henao Villa</i>	
Factores Críticos para la Adopción del Comercio Electrónico en Pymes de Turismo.....	961
<i>Sussy Bayona-Oré, Romy Estrada</i>	
Factores Críticos de Aceptación de la Intención de Uso del Efectivo Móvil	972
<i>Sussy Bayona-Oré, Lizet Leyva</i>	
Viabilidad de las redes neuronales en la detección de objetos.....	981
<i>Carlos Santiago Rojas Moreno, Cristian Alexander Bravo, Jeisson Steven Rincon, Carlos Enrique Montenegro-Marín, Paulo Alonso Gaona-Gracias</i>	
Estilos de aprendizaje y uso de TIC en docentes universitarios: análisis relacional basado en componentes	1001
<i>David Alberto García Arango, Jorge Eliécer Villarreal Fernández, José Antonio Ortega Carrillo, Óscar Andrés Cuéllar Rojas, César Felipe Henao Villa</i>	
A influência da tecnologia no golfe – um estudo comparativo ao longo de duas gerações.....	1017
<i>Manuel Au-Yong-Oliveira</i>	
La e-research en el proceso de recogida y análisis de datos en el estudio de caso para la construcción de entornos personales de trabajo y aprendizaje	1031
<i>María Ramírez Sánchez, Edwin Rivas Trujillo, Víctor Hugo Medina García</i>	
Telederecho: una alternativa de justicia restaurativa a través del uso de las tecnologías de información y comunicaciones, en las cárceles de la ciudad de Medellín	1042
<i>José Antonio García Pereáñez</i>	
Gestión de información de la cadena de suministro de productos perecederos: Aplicación de Blockchain	1051
<i>Alejandra Nonzoque Herrera, Laura Carolina Guzmán, José Ignacio Rodríguez</i>	

Promovendo a Aprendizagem Ativa por meio da estratégia Jigsaw: experiências com Liquid Galaxy

Marc González Capdevila¹, Ismar Frango Silveira², Valéria Farinazzo Martins^{2, 3}

marcgc21@gmail.com, ismar.silveira@mackenzie.br, valeria.farinazzo@mackenzie.br

¹ Centro Universitário Facens, Rodovia Senador José Ermírio de Moraes, 1425 - Jardim Constantino Matucci, Sorocaba - SP, 18085-784, Brasil

² Faculdade de Computação e Informática - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930, CEP 01302-000, São Paulo - SP, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930, CEP 01302-000, São Paulo - SP, Brasil.

Pages: 1–14

Resumo: Este trabalho traz a experiência prática no uso da estratégia de aprendizagem cooperativa (Jigsaw) para o ensino de partes específicas de desenvolvimento da plataforma Liquid Galaxy, da Google. Os assuntos envolvidos relacionavam-se a Sistemas Operacionais, Redes de Computadores, *FrontEnd* e *BackEnd* e envolviam um grupo de 10 estudantes de graduação em Engenharia de Computação, do 2º, 3º e 4º semestres. Para verificar a efetividade do processo de aprendizado destes estudantes, utilizou-se o instrumento ASPECT para coletar os dados baseado em valor da atividade em grupo, esforço pessoal e contribuição do professor.

Palavras-chave: Aprendizagem cooperativa; Jigsaw; Processo de ensino-aprendizagem; Liquid Galaxy.

Promoting Active Learning through Jigsaw Strategy: Experiments with Liquid Galaxy

Abstract: This paper shows the practical experience using a cooperative learning strategy called Jigsaw. It is used to teach over the Liquid Galaxy platform created by Google, different subjects related to Operative Systems, Computer Networks, FrontEnd and BackEnd. This study was applied to a group of 10 Computer Engineering undergraduate students from the 2nd, 3rd and 4th semesters. To verify the effectiveness of the learning process of these students, the ASPECT instrument was used to collect data based on the value of group activity, personal effort and instructor contribution.

Keywords: Cooperative learning; Jigsaw; Teaching-learning process; Liquid galaxy.

1. Introdução

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação (Brasscom)¹, embora o Brasil esteja vivendo uma crise econômica nos últimos anos, o setor de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) tem sido um propulsor de desenvolvimento e crescimento. Além disso, a média salarial nesta área é de 2.8 vezes maior que a média dos demais setores da economia.

Se por um lado o mercado de trabalho na área de Tecnologia da Informação (TI) parece bastante atraente, por outro lado, os cursos de graduação nesta área são tidos como extremamente difíceis pelos estudantes. No Brasil, por exemplo, de acordo com as Entidades Mantenedoras de Estabelecimentos de Ensino Superior no Estado de São Paulo (Semesp), os cursos desta área são os que têm a maior taxa de desistência de estudantes: em torno 66,66% em cursos de Sistemas de Informação e de 75% em cursos de Ciência da Computação (Martins; Rodrigues; Knih, 2019). Ainda que os CST (Cursos Superiores de Tecnologia) da área tenham taxas menores de evasão (possivelmente pela menor duração e por terem foco em públicos mais específicos), há casos, como os dos cursos em Licenciatura em Computação, que vêm sofrendo, além da evasão, também com um declínio na procura (Bezerra; Silveira, 2011).

Entre as causas identificadas para a alta desistência nestes curso estão a baixa motivação dos estudantes, a falta de capacidade de pensamento abstrato, o baixo conhecimento de matemática, o desconhecimento sobre o conteúdo programático do curso e as dificuldades associadas a ele (Piteira; Costa, 2013). Essa evasão é ainda mais crítica nos primeiros anos, segundo Silva Filho et al. (2007) que afirmam que, de maneira global, percebe-se uma taxa de evasão no primeiro ano de curso na ordem de até três vezes maior do que a ocorrida nos demais anos.

Há que se considerar, entretanto, que devido aos recentes câmbios sociais (formas de trabalho, de comunicação, relações interpessoais, entre outros), influenciados majoritariamente pela evolução tecnológica, as pessoas igualmente vêm mudando as formas como buscam informação e constroem conhecimento (Lemke, 2010). Em decorrência disso, são necessárias pesquisas e experimentações empíricas de metodologias de ensino e aprendizagem, focadas em práticas ativas, tais como sala de aula invertida (Bishop; Verleger, 2013), Problem-Based Learning (PBL) (Barrows, 1986), Jigsaw (Aronso, 1978), entre outras. Muitas destas metodologias sequer podem ser consideradas como “novas”, como é o caso de PBL e Jigsaw, abordada neste trabalho. Entretanto, ao contextualizar-se sua aplicação na contemporaneidade, as possibilidades de colaboração trazidas pelo recente avanço de aparatos e técnicas computacionais podem trazer novas roupagens a tais metodologias.

Jigsaw é baseado em aprendizagem cooperativa, em que os estudantes são divididos em grupos para a resolução de problemas, de maneira que atinjam um bom aprendizado e boa comunicação, de forma bastante autônoma. Em termos gerais, trata-se de uma estratégia de agrupamento na qual os estudantes são organizados em (ao menos) dois grupos, um grupo Jigsaw (“quebra-cabeças”) e um grupo de “Especialistas”, contendo um membro de cada grupo Jigsaw. Os membros do grupo de “Especialistas” focam em uma tarefa específica para, em seguida, retornarem aos grupos Jigsaw para compartilhar seu

¹ <https://brasscom.org.br/>

aprendizado. Espera-se, assim, que o aprendizado dos grupos de “Especialistas” possa ser replicado de maneira eficaz e rápida por toda a classe.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho está em analisar a aplicação da estratégia Jigsaw para promover o aprendizado de uma tecnologia dentro de um grupo de pesquisa formado por estudantes de graduação. A tecnologia utilizada foi a Liquid Galaxy², que se baseia em clusterização, controladores de hardware e múltiplas telas. Além do objetivo de aprendizado, Jigsaw foi utilizado para melhorar a motivação e engajamento dos estudantes, promover a comunicação entre as pessoas e instigar o espírito de liderança e autonomia.

Este trabalho está estruturado como segue. Na seção 2, são apresentados os temas da fundamentação teórica, necessários para o entendimento do restante do trabalho. Já na seção 3, estão os detalhes da aplicação da estratégia Jigsaw, adaptada ao contexto do trabalho. Na seção 4, são trazidos os resultados e discussões. Finalmente, na seção 5 estão presentes as conclusões do trabalho.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Aprendizagem Cooperativa e a Estratégia Jigsaw

Aprendizagem cooperativa, nascida na década de 1970, caracteriza-se principalmente por sua natureza social, em que os estudantes interagem entre si e compartilham suas ideias, tornando sua compreensão individual e mútua mais eficaz. A aprendizagem ocorre em um meio particular, no qual se desenvolvem habilidades intelectuais e interpessoais e se estabelecem relações sociais (Fatarelí et al., 2010).

De acordo com o trabalho de Johnson et al. (1974), para que o trabalho cooperativo seja funcional e produtivo, ele deve respeitar as seguintes premissas:

- interdependência positiva – num trabalho coletivo, há um objetivo em comum a ser alcançado, e cada membro do grupo está preocupado com o aprendizado de sua equipe;
- responsabilidade individual – responsabilidade sobre o auto-aprendizado, aprendizado da equipe e retorno positivo para o grupo;
- interação face a face – oportunidade de interagir com os colegas de modo a explicar, elaborar e relacionar conteúdos;
- habilidades interpessoais – são desenvolvidas algumas características holísticas, tais como: competências de comunicação, confiança, liderança, decisão e resolução de conflito;
- processamento grupal – análises regulares e sistemáticas sobre o desenvolvimento do grupo e na progressão na aprendizagem.

A estratégia Jigsaw (Aronson, 1978) vai ao encontro dos princípios estabelecidos pela aprendizagem cooperativa; caracteriza-se por um conjunto de procedimentos específicos, especialmente adequado ao desenvolvimento de competências cognitivas.

² <https://liquidgalaxy.org/>

Em sua primeira fase, os estudantes são distribuídos em grupos de base (grupo Jigsaw) e um determinado tópico é discutido por todos de cada grupo. O tópico é subdividido em tantos subtópicos quantos os membros do grupo. Já na segunda fase, cada estudante discute com os membros dos outros grupos a quem foi distribuído o mesmo subtópico (especialistas). Após o aprendizado, cada especialista volta ao grupo de base e apresenta o que aprendeu sobre o seu subtópico aos seus colegas, de modo que sejam reunidos os conhecimentos indispensáveis para a compreensão do tópico em questão. O aprendizado se dá de forma individual, primeiramente, seguido pelo aprendizado da equipe. Cada estudante precisa aprender a matéria para 'si próprio' e também explicar aos seus colegas, de forma clara, o que aprendeu (Cochito, 2004). Na Figura 1, é possível ter informações do esquema básico do método.

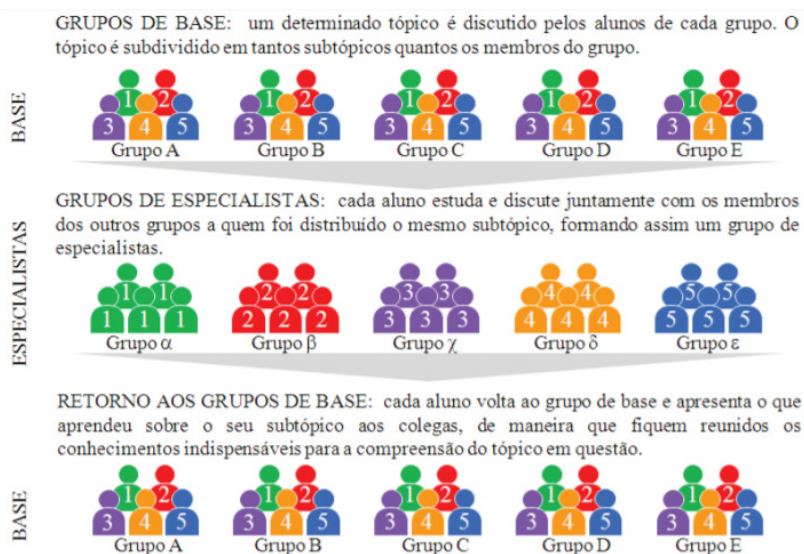


Figura 1 – Representação esquemática de atividade baseada na estratégia Jigsaw (fonte: Fatareli et al., 2010)

2.2. Trabalhos Relacionados

Vários trabalhos sobre o uso da estratégia baseada na aprendizagem cooperativa (Jigsaw) foram encontrados na literatura. Fatareli et al. (2010) descrevem o uso de Jigsaw aplicado a estudantes do 2º ano do ensino médio, numa escola brasileira. Neste estudo a metodologia foi utilizada para o ensino de Química. No final da pesquisa, os estudantes responderam a um questionário para a análise da aceitação da atividade. Os resultados indicam pontos positivos no uso de tal metodologia entre os quais: a aprendizagem cooperativa pode criar condições para um melhor ensino de conteúdos de Química; pode contribuir para a formação de um cidadão consciente e estimular atitudes cooperativas na escola e no ambiente social.

Já Jimenez, Vargas e Santamaría (2007) abordam a utilização de Jigsaw para o ensino de Estatística, tradicionalmente rotulada como difícil para os estudantes. O estudo está inserido numa disciplina em um ambiente virtual de aprendizagem, no contexto europeu. Também foi trabalhado o desenvolvimento de competências e habilidades, transversais e específicas, que não são comumente trabalhadas em metodologias mais tradicionais, mas identificadas como fundamentais para o processo do aprendizado contínuo.

Também Carvalho, Dominguez e Morais (2019) contribuem para a investigação empírica sobre estratégias ativas de ensino e aprendizagem, tal como Jigsaw, que promovam o desenvolvimento do pensamento crítico. O estudo envolveu uma turma de estudantes de primeiro ano do curso de licenciatura de Engenharia Mecânica, em que se buscou saber em que medida uma estratégia pedagógica integrada, utilizando Pesquisa Guiada (PG) e Jigsaw, pode promover capacidades e disposições de pensamento crítico. Os resultados desta pesquisa apontam para o potencial desta estratégia na aquisição de conhecimento, no desenvolvimento das capacidades de questionar, analisar, avaliar e sintetizar informação e das disposições de autoconfiança e de curiosidade intelectual.

De acordo com a busca realizada na literatura, percebe-se a predominância de pesquisas no uso da estratégia Jigsaw aplicada no contexto de sala de aula, tanto no ensino médio, quanto no ensino superior. Este trabalho diverge destes, por ser usado no contexto de um grupo de pesquisa e não em sala de aula.

2.3. Liquid Galaxy

O Liquid Galaxy é um cluster de computadores, controladores e múltiplas telas, tal como apresentado na Figura 2 (Tickner, 2016). Foi criado em 2008, pelo trabalhador do Google, Jason Holt e liberado mais tarde sob uma licença de código aberto. O projeto começou como uma ferramenta de visão panorâmica de múltiplas telas para trabalhar com o Google Earth, a fim de criar um espaço de experiências imersivas para os usuários. Com o tempo, outras aplicações foram desenvolvidas e hoje ela pode ser usada como uma ferramenta para empresas em sistemas de informação geográfica, agências imobiliárias, renderização de figuras 3D, jogos e outros.



Figura 2 – Tecnologia Liquid Galaxy³

³ <https://angel.co/projects/529988-liquid-galaxy>

Todos os computadores estão conectados na mesma rede privada e se comunicam entre eles utilizando uma arquitetura *master-slave*, *client-server* ou ambos, dependendo do aplicativo a ser usado. No caso do Google Earth, por exemplo, é usada uma arquitetura *master-slave*.

A interação do usuário com o sistema pode ser feita usando diferentes tipos de dispositivos, como mouse, teclado, mouse 3D, interface da web, Leap Motion, Kinect, Google Assistant e outros. No entanto, o núcleo do projeto oferece uma única configuração estável para uma interface da web desenvolvida com a linguagem PHP e também com um mouse 3D chamado “Space Navigator”. O navegador espacial é um controlador de seis eixos, permitindo mover-se em todas as direções, girar, aproximar, afastar e girar em um movimento completamente fluido. O Liquid Galaxy funciona enviando mensagens do tipo “ViewSync” por meio de sua rede interna. As mensagens são enviadas como datagramas UDP que descrevem, por exemplo, a posição central do Google Earth no nó *master*.

3. Metodologia do Trabalho

Para implementar a estratégia Jigsaw em um projeto interdisciplinar em que os estudantes colaboram como voluntários, foi necessário criar e adaptar objetivos específicos para que eles fossem atingidos. As seções a seguir especificam como a estratégia Jigsaw foi adaptada com base no conhecimento prévio dos estudantes e nos objetivos específicos estabelecidos pelo instrutor. Também pode-se encontrar a avaliação dos estudantes em relação ao aprendizado usado com base no instrumento ASPECT (Wiggins et al., 2017).

Os passos para atingir os objetivos gerais e específicos do projeto foram:

1. Obter do perfil de cada estudantes através de coleta de informação sobre conhecimentos prévios sobre Desenvolvimento Web, Redes de Computadores, Sistemas Operacionais e Inglês.
2. Aplicar a estratégia Jigsaw.
 - a. Apresentação do problema.
 - b. Divisão dos estudantes em grupos heterogêneos.
 - c. Apresentação da lista de tarefas de cada área.
 - d. Composição dos estudantes em grupos de especialistas.
 - e. Retorno dos estudantes ao grupo heterogêneo.
 - f. Apresentação da solução proposta pelos estudantes.
3. Avaliar o aprendizado.

3.1. Caracterização dos Estudantes e do Ambiente

A experiência relatada neste documento foi realizada por seis meses como um projeto de pesquisa para um total de 10 estudantes de graduação em Engenharia da Computação em um centro universitário brasileiro, localizado no interior do estado de São Paulo, com início no primeiro semestre de 2018. A distribuição dos estudantes era heterogênea com os estudantes do primeiro, segundo e terceiro anos.

A Figura 2 apresenta o conhecimento prévio dos estudantes em relação às tecnologias com as quais eles teriam que trabalhar. Esta informação foi coletada a partir da percepção

de cada estudante em relação a seu conhecimento sobre desenvolvimento Web, Redes de Computadores, Sistemas Operacionais e proficiência em inglês (porque a documentação técnica está escrita nesse idioma e se pretendia usar o inglês como idioma veicular no projeto).

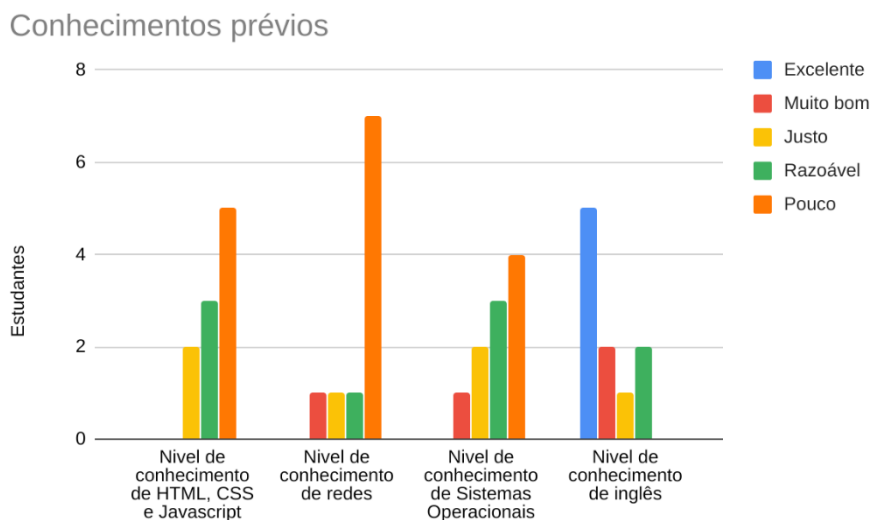


Figura 2 – Conhecimentos prévios sobre Desenvolvimento Web, Redes de Computadores, Sistemas Operacionais e Inglês

3.2. Aplicação da Estratégia

3.2.1. Apresentação do problema

Na primeira sessão de trabalho, a tecnologia Liquid Galaxy é apresentada, assim como as suas funcionalidades básicas, e dois projetos foram dados aos estudantes. O primeiro projeto era constituído da instalação da ferramenta Liquid Galaxy e o segundo baseou-se na melhoria de determinadas funcionalidades do mesmo sistema.

3.2.2. Divisão dos estudantes em grupos heterogêneos

O objetivo principal de trabalhar com o projeto Liquid Galaxy era explorar como os estudantes podiam descobrir, por meio de aprendizagem por descoberta, diferentes áreas do conhecimento que ainda não haviam sido abordados em seus estudos.

Com esta finalidade, o projeto Liquid Galaxy pôde ser utilizado visto que para entender seu funcionamento são necessários conhecimentos nas áreas de Redes de Computadores, Sistemas Operacionais, Desenvolvimento Web e tecnologias baseadas em *cloud*. Assim, os estudantes foram agrupados nos seguintes blocos de conteúdo: Grupo 1. Redes de Computadores e Sistemas Operacionais; Grupo 2. *Backend* e *cloud*; Grupo 3. *Frameworks* de *Frontend*

Então os 10 estudantes foram divididos em três grupos (3, 3 e 4 pessoas). Cada um dos grupos tem como objetivo principal a instalação de uma instância do Liquid Galaxy. Cada seleção de grupo foi feita de acordo com seu maior conhecimento prévio.

3.2.3. Apresentação da lista de tarefas de cada área

Uma lista de tarefas foi apresentada para os grupos para que pudessem realizar a instalação corretamente da arquitetura supracitada. Estas tarefas foram criadas pelo instrutor e sempre tinham elementos para serem executados por cada um dos três grupos. Para o projeto 1, criar um servidor onde se pode analisar o tráfego dos pacotes UDP através da porta 4000 que utiliza imagens como recurso, os grupos foram dispostos em:

1. Sistemas operacionais/ Redes - controlar o tráfego de rede através de uma porta do sistema.\
2. *FrontEnd* - projetar a parte visual.
3. *BackEnd* - implementar as funções do servidor Firebase para ser executada pelo *FrontEnd*.

Dentro do grupo, cada estudante foi responsável por solucionar sua tarefa com a ajuda dos outros especialistas e, finalmente, compartilhar com os outros membros do grupo a sua solução.

3.2.4. Composição dos estudantes em grupos de especialistas

O passo seguinte foi reunir os grupos de especialistas em cada tema para discutir como abordar o problema. Os estudantes tiveram que discutir as diferentes opções e dividir o trabalho internamente para encontrar uma solução. Uma vez encontrada a solução, este grupo era finalizado.

3.2.5. Retorno dos estudantes ao grupo heterogêneo

Visto que cada grupo encontrou a solução do problema, os especialistas voltaram a seus grupos originais (composto por especialistas de cada área tratada). Com o grupo reunido novamente e, com todas as partes do projeto resolvidas, faz-se o compartilhamento de informações obtidas no agrupamento de especialistas. Então, a última tarefa de cada grupo é unir todas as partes do projeto para finalizar a tarefa solicitada.

3.2.6. Apresentação da solução proposta pelos estudantes

Após a compreensão de todas as partes por cada estudante de cada grupo, eles elaboraram um relatório e apresentaram o resultado ao instrutor.

3.2.7. Continuação dos estudos

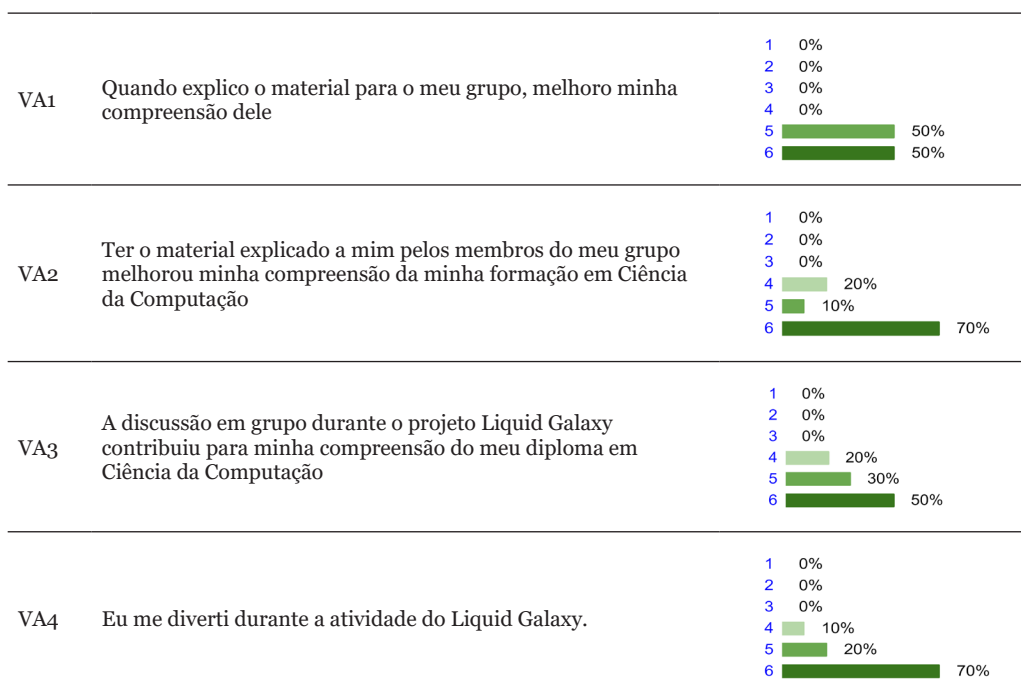
Com o primeiro objetivo cumprido (instalação de uma arquitetura de software), foi solicitada a realização do segundo objetivo do projeto. Este consistia em melhorar elementos da instalação previamente realizados. Neste ponto, somente as tarefas a serem desenvolvidas foram passadas para todos os estudantes.

Compostos em grupo, então, eles se organizaram para a divisão das tarefas entre os grupos e em sub-tarefas entre os membros do mesmo grupo. Estas tarefas consistiam, por exemplo, em: remover arquivos e pastas de pacotes que não estão funcionando; redesenhar protocolo de comunicação entre o 3D Space Navigator para operar em modo wireless e reestruturar o sistema baseado em nuvem da Google. Então, reaplicaram a estratégia Jigsaw, de forma bastante autônoma.

4. Resultados e Discussões

Para avaliar o aprendizado do grupo de estudantes foi utilizado o instrumento ASPECT (Wiggins et al., 2017). As 16 questões presentes no instrumento concentram-se em três aspectos principais: valor da atividade do grupo (VA), esforço pessoal (PE) e contribuição do instrutor (IC). Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentadas 16 questões adaptadas deste instrumento, a fim de se ajustar aos propósitos desta pesquisa. Este instrumento foi disponibilizado feito por meio de um formulário on-line assim que a aplicação do Jigsaw foi concluída. São apresentados também os resultados coletados dos estudantes, categorizados em três grupos. Também estão incluídas as respostas extraídas da entrevista com o instrutor.

De maneira a facilitar a identificação de tendência, as respostas seguem uma escala de Likert sem ponto central, com seis níveis, em que o primeiro nível denota total discordância da afirmação e o sexto nível, total concordância.



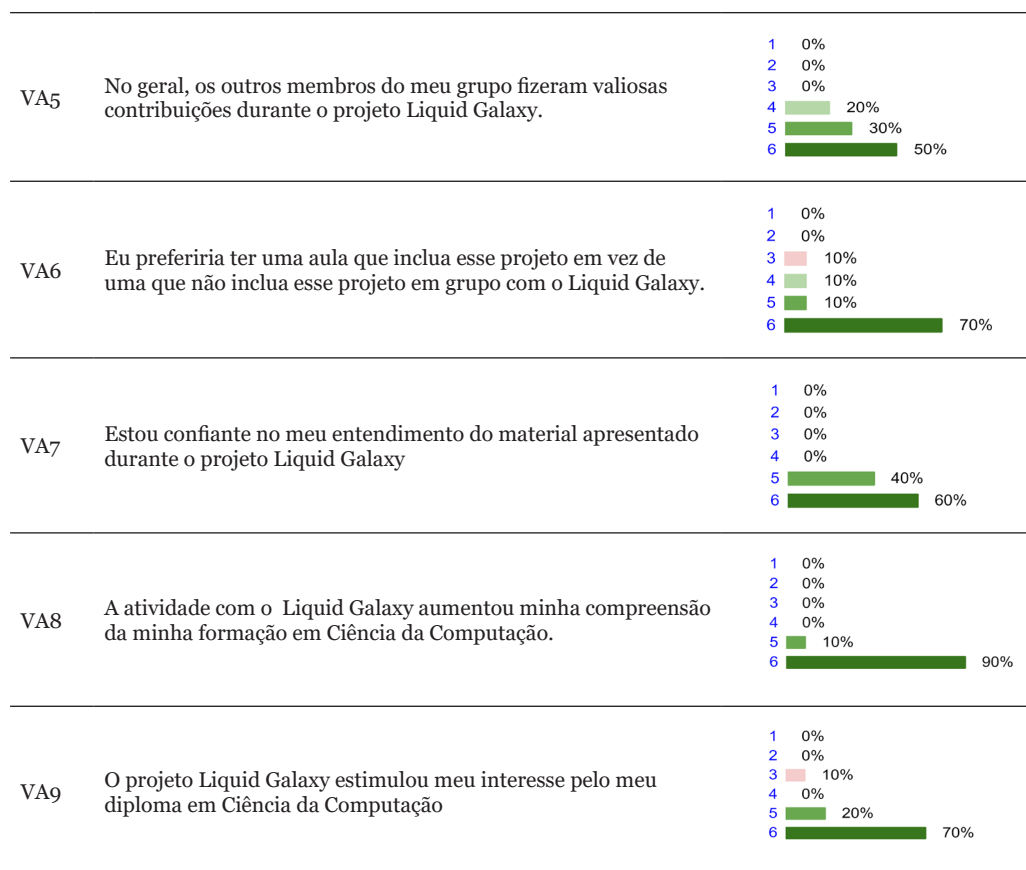


Tabela 1 – Instrumento ASPECT - Dimensão do Valor da Atividade

De acordo com a Tabela 1, verifica-se uma avaliação de tendência positiva quanto à dimensão do Valor da Atividade. Pela análise dos dados, percebe-se uma certa insegurança quanto à percepção de aprendizagem durante o processo, o que pode estar relacionado a uma certa imaturidade inerente à faixa etária. Pode também denotar uma compreensão da dimensão do campo conceitual e técnico a ser explorado, revelando que parte dele ainda não foi compreendido ou explorado. Há pequenas ressalvas quanto à qualidade das contribuições do grupo nos esforços de cooperação.

A análise das respostas na Tabela 2 traz aspectos de autocrítica dos estudantes quanto ao esforço pessoal dedicado ao projeto. As autocríticas mais relevantes dizem respeito à qualidade da contribuição do estudante ao grupo e ao foco nas atividades do projeto.

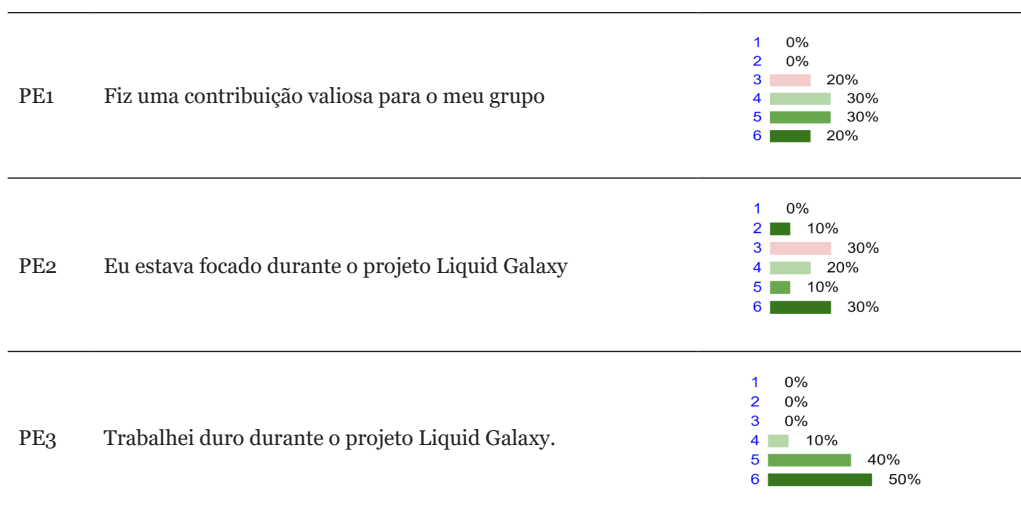


Tabela 2 – Instrumento ASPECT - Dimensão do Esforço Pessoal

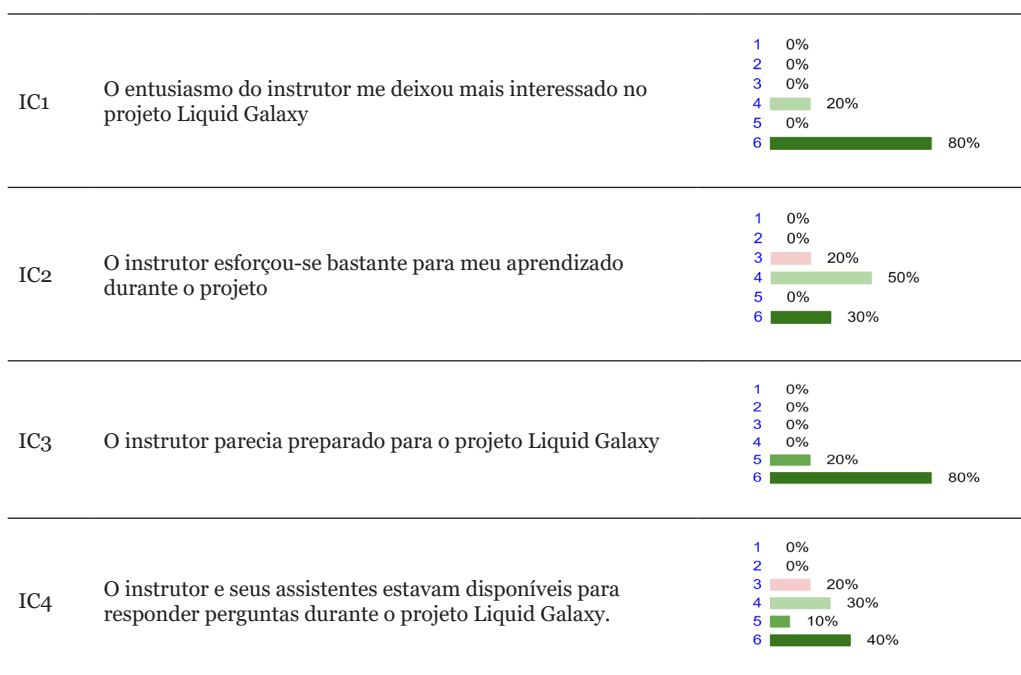


Tabela 3 – Instrumento ASPECT - Contribuição do Instrutor

Os dados presentes na Tabela 3 mostram uma avaliação positiva dos estudantes quanto ao preparo, entusiasmo e à capacitação do instrutor. Há ressalvas quanto ao atendimento pessoal do instrutor e seus assistentes, o que denota a percepção de uma necessidade de maior *guidance* por parte dos estudantes.

4.1. Resultado da entrevista com o Instrutor

Após a conclusão do projeto, o professor é entrevistado para conhecer a percepção que teve após aplicar a metodologia supracitada. Por ser uma atividade voluntária e complementar na universidade, foi oferecida a um número maior de estudantes. Embora 16 pessoas estivessem interessadas inicialmente, o projeto começou com 10 estudantes. As demais pessoas saíram por motivos pessoais ou incompatibilidade com o horário de trabalho. Apenas uma pessoa desistiu inicialmente por causa da complexidade do projeto.

A automotivação e a atitude proativa foram elementos observados ao longo do projeto nos diferentes estudantes, mostrando uma atitude muito positiva com o auto-aprendizado não supervisionado. Os estudantes valorizaram muito positivamente o fato de serem capazes de trabalhar com tecnologias novas antes de serem estudadas na sala de aula. Este foi o caso especial de disciplinas com conteúdo baseado em Sistemas Operacionais e Desenvolvimento Web. Ao cursá-las no próximo semestre, a nota mínima de estudantes que participaram no projeto foi igual ou superior a 9. O trabalho em equipe foi um valor essencial desenvolvido durante os meses em que o projeto durou, onde os estudantes trabalharam entre si para criar um ambiente saudável e livre de problemas.

Como fragilidade da estratégia implementada, encontra-se o fato do desconhecimento inicial dos estudantes, bem como a falta de experiência no trabalho em equipe. Essa foi uma grande barreira inicial, para a qual foi necessário aplicar um direcionamento guiado. A interação e a supervisão do instrutor nesses momentos iniciais foram necessárias para atingir o primeiro objetivo com as tarefas. Porém, o resultado foi satisfatório, conseguindo atingir todas as fases do projeto e de forma paralela se trabalhou para que participaram do programa de bolsas de estudos do Google, “Google Summer of Code” conseguindo que dois estudantes ganhassem uma bolsa para trabalhar durante 3 meses com uma organização *open-source*.

5. Conclusões

Este artigo apresentou situações de como usar a estratégia Jigsaw para ser aplicada como uma ferramenta interdisciplinar com estudantes de Engenharia da Computação de uma Faculdade particular no interior do Estado de XXX (omitido para *blind review*), no Brasil. A plataforma Liquid Galaxy é usada para a descoberta não guiada de elementos curriculares que ainda não foram apresentados para estudantes dos primeiros anos de graduação.

O desafio inicial que os estudantes tiveram foi utilizar com tecnologias ainda desconhecidas para eles e ter que aprender, de maneira autônoma, como trabalhar com elas. O fato de trabalhar em um projeto do Google teve um grande impacto para ajudar a desmistificar a ideia de que tais projetos são de uma complexidade inatingível.

Os estudantes conseguiram realizar a instalação e aplicar melhorias no sistema, aumentando o conhecimento que possuíam em diferentes áreas curriculares, além de trabalhar em outros aspectos, como gerenciamento de projetos. Desta forma, os resultados do uso dessa estratégia fornecem dados positivos sobre o interesse demonstrado pelos estudantes, bem como o nível de conhecimento adquirido por eles.

Quanto à avaliação da experiência, as três dimensões avaliadas (Valor da Atividade, Esforço Pessoal e Contribuições do Instrutor) mostram que há espaço para melhorias na estratégia, como um maior feedback, de maneira a que os alunos se sintam mais guiados em seus processos individuais e cooperativos de aprendizagem. Um bom feedback também auxilia em uma auto-análise mais positiva a respeito da qualidade das próprias contribuições do aluno ao grupo e ao projeto.

Como trabalho futuro, pretende-se continuar aplicando a mesma estratégia - com refinamentos - para novos estudantes, aproveitando aqueles já treinados para acompanhar o processo de aprendizagem entre pares, e analisando os seus impactos na aprendizagem

Referências

- Aronson, E. (1978). *The jigsaw classroom*. Sage.
- Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical education*, 20(6), 481-486.
- Bezerra, L. N. M., & Silveira, I. F. Licenciatura em Computação no Estado de São Paulo: uma Análise Contextualizada e um Estudo de Caso. *XIX Workshop sobre o Ensino de Computação*. Anais do CSBC, 2011.
- Bishop, J. L., & Verleger, M. A. The flipped classroom: A survey of the research. *ASEE national conference proceedings, Atlanta, GA*. Vol. 30. No. 9. 2013.
- Carvalho, M., Dominguez, C., & Morais, T. (2019). Desenvolver o Pensamento Crítico através da Pesquisa Guiada e Jigsaw: um estudo exploratório num curso de engenharia. *Revista Lusófona de Educação*, 44(44).
- Fatarel, E. F., Ferreira, L. N. D. A., Ferreira, J. Q., & Queiroz, S. L. (2010). Método cooperativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de cinética química. *Química nova na escola*, 32(3), 161-168.
- Jiménez, J. M., Vargas, M. V., & Santamaría, M. L. M. (2007). Aprendizaje cooperativo en entornos virtuales: el método Jigsaw en asignaturas de estadística. *Documentos de Trabajo. Seminario Permanente de Ciencias Sociales*, (3), 1.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1974). Instructional goal structure: Cooperative, competitive, or individualistic. *Review of educational research*, 44(2), 213-240.
- Martins, V. F., Rodrigues, B. S., & Knih, E. Uso de Jogos para o Ensino de Programação: Relato de Experiência. *Proceedings of XX CLEI - Conferencia Latinoamericana de Informática* (in press), 2019.

- Piteira, M., & Costa, C. (2013, July). Learning computer programming: study of difficulties in learning programming. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Information Systems and Design of Communication* (pp. 75-80). ACM.
- Lemke, J. L. (1998). Metamedia literacy: Transforming meanings and media. *Handbook of literacy and technology: Transformations in a post-typographic world*, 283-301.
- Silva Filho, R. L. L., Motejunas, P. R., Hipólito, O., & Lobo, M. B. C. Evasão no Ensino Superior. *Cadernos de Pesquisa*, v. 37, n. 132, set./dez. 2007, p. 641-649.
- Tickner, A. (2016). The Liquid Galaxy in the library: A study of use and users of interactive digital display technology at UNC-CH. *Library Hi Tech*, 34(4), 657-668.
- Wiggins, B. L., Eddy, S. L., Wener-Fligner, L., Freisem, K., Grunspan, D. Z., Theobald, E. J., ... & Crowe, A. J. (2017). ASPECT: A survey to assess student perspective of engagement in an active-learning classroom. *CBE—Life Sciences Education*, 16(2), ar32.

Classificação do sinal mioelétrico utilizando *Support Vector Machine* e o modelo de Rede Neural *Multilayer Perceptron*.

Gleidson Leite da Silva¹, Francisco de Assis Brito Filho¹

gledson.leytte@hotmail.com, francisco.brito@ufersa.edu.br

¹ Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica – LIEB, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, 59.780-000, Caraubas – RN, Brasil.

Pages: 15–27

Resumo: O campo de inteligência artificial têm sido bastante explorado e aprimorado ao decorrer dos últimos anos em especial na área de *machine learning*. O principal propulsor para este acontecimento foi o desenvolvimento dos recursos computacionais, que foram capazes de processar grandes quantidades de informações e de uma forma rápida, dando maior confiabilidade aos resultados. Entre os benefícios que essa área traz para a sociedade, destaca-se a análise de biosinais voltados para a biomedicina, com foco na classificação e predição de determinadas características, que podem auxiliar no controle de dispositivos ou no diagnóstico de doenças. Dentre estas características, uma de especial importância é a classificação de biosinais para reprodução de movimentos em próteses inteligentes. Esse artigo tem como foco principal a análise e comparação entre métodos utilizados para a classificação de movimentos, a *Support Vector Machine* (SVM) e a *Multilayer Perceptron* (MLP), de modo a reproduzir movimentos da mão, a partir da captação de um sinal mioelétrico.

Palavras-chave: Inteligência artificial; *Machine learning*; Biosinais; *Support Vector Machine*; *Multilayer Perceptron*.

Comparison between SVM and MLP Neural Network model for myoelectric signal classification.

Abstract: The field of artificial intelligence has been greatly explored and improved over the last few years mainly in the area of Machine learning. The main driver for that event was the development of computational resources that were able to process information faster and faster. Among the benefits that this area brings to society, there is analysis of biosignals for biomedical applications focusing on the classification and prediction of certain characteristics, which may assist in device control or disease diagnosis. Among those characteristics, one of special importance is the classification of biosignals for motion reproduction in smart prostheses. This article focuses on the analysis and comparison of Support Vector Machine (SVM) and Multilayer Perceptron (MLP) methods used to classify hand movements using myoelectric signal.

Keywords: Artificial Intelligence; Machine learning; Biosignals; Support Vector Machine; Multilayer Perceptron.

1. Introdução

Os métodos desenvolvidos e aprimorados no campo de inteligência artificial têm sido ferramentas de suma importância para diversas áreas de estudo, tais como economia, engenharias e especialmente aquelas ligadas à saúde, como a biomedicina. Os avanços nesse âmbito trazem benefícios para a sociedade como a inclusão de pessoas portadoras de deficiência motora, através do auxílio no desenvolvimento das suas atividades pelo meio de dispositivos como próteses inteligentes controladas por biosinais (Kumar et al., 2019).

Entre os biosinais oriundos do corpo humano, de acordo com Liang et al. (2019), o sinal mioelétrico é proveniente da contração dos músculos, o qual pode ser captado através de um circuito de aquisição acoplado ao corpo através de eletrodos não invasivos. A obtenção deste biosinal muscular é classificada como eletromiografia (EMG). Através da captação desse sinal, é possível se implementar controles inteligentes através do seu processamento em dispositivos voltados à reabilitação, como próteses inteligentes, que são capazes de reproduzir movimentos parecidos com o movimento natural (Samuel et al., 2018). Entre as abordagens de controle utilizando inteligência artificial, existem modelos de redes neurais artificiais (ANN, do inglês *Artificial Neural Networks*) que são capazes de fazer classificações de determinados padrões de movimentos a partir do biosinal adquirido.

As ANNs são modelos matemáticos onde seu comportamento se assemelha ao funcionamento do cérebro. Segundo o trabalho de Liu et al. (2017), esses modelos têm uma estrutura formada por neurônios (ou unidades de processamento) interligados através de pesos sinápticos associados, que quando ajustados corretamente fazem com que a ANN tenha um comportamento eficaz em relação ao seu aprendizado por meio de bancos de dados (*datasets*). De acordo com Haykin (2009), o processo de treinamento de uma ANN é executado a partir de um algoritmo de aprendizagem, onde a principal função deste é fazer a modificação dos pesos sinápticos da topologia construída para que a resposta da saída seja coerente com o que foi projetado. Logo, de acordo com Bilbao e Bilbao (2017), as ANNs são funções de aproximações universais podendo ser usadas para classificação e mapeamento de dados, assim como também uma função de predição.

Os algoritmos de aprendizagem podem ser divididos pelas seguintes categorias: supervisionado, não supervisionado e por reforço. No trabalho de Carrio et al. (2017), é abordado que a aprendizagem supervisionada é dada pelo treinamento a partir de um conjunto de exemplos contendo características relevantes, sendo que para cada amostra, existe uma ou mais características denominadas rótulos que os classificam, onde esses são chamados de conjuntos de entradas e saídas respectivamente para a ANN.

Com o intuito de verificar as metodologias utilizadas na literatura para classificação dos dados dos sinais mioelétricos, esse artigo propõe a comparação de técnicas utilizadas no âmbito de *Machine Learning*, como a *Support Vector Machine* (SVM) e um modelo de ANN, a *Multilayer Perceptron* (MLP), em que estas são utilizados para classificar e prever dados utilizando a abordagem de aprendizagem supervisionada.

2. Referencial Teórico

2.1. Support Vector Machine - SVM

De acordo com Liao et al. (2018), a SVM é uma das técnicas de *Machine Learning* (ML) que tem o objetivo de encontrar hiperplanos ótimos que separam conjuntos de dados para se fazer uma determinada classificação. Assim, pode-se dizer que a SVM projeta um hiperplano em um espaço n-dimensional por meio de um conjunto de pontos que podem ser chamados de vetores de suporte, maximizando a margem entre grupos de classificação. Diferente dos métodos convencionais utilizados em ML como a ANN MLP, a SVM tem como objetivo diminuir os erros em relação à generalização da classificação, ao invés de minimizar o erro quadrático em relação aos exemplos usados para treinamento (Vijayarajeswari et al., 2019). Logo, o modelo SVM pode ser aplicado para problemas linearmente separáveis, assim como também não lineares com a vantagem de não necessitar de uma grande quantidade de dados em seu processo de aprendizagem.

2.1.1. Problemas Linearmente Separáveis

Em Battineni, Chintalapudi e Amenta (2019) é dito que em um problema linear de duas dimensões, é possível categorizar duas classes de dados x_1 e x_2 a partir de uma reta. Dada a Eq. 1 (equação da reta), se x for tomado como x_1 e y como x_2 , então a equação poderá ter o formato descrito pela Eq. 2. Dado que $X = (x_1, x_2)$ e $w = (a, -1)$, então a se transformará em: $wx + b = 0$, sendo essa a equação do hiperplano que separa as duas classes. De acordo com (Haykin, 2009) a distância entre o hiperplano e um determinado ponto é dada por ρ , assim, uma vez que esse é dado como máximo, então, o hiperplano encontrado é dado como ótimo.

$$y = ax + b \quad (1)$$

$$ax_1 - x_2 + b = 0 \quad (2)$$

Dado w_0 e b como valores ótimos para a equação do hiperplano, então a Eq. 3 pode ser remodelada conforme descrito pela Eq. 4. Rearranjando a Eq. 4, a Eq. 5 descreve a distância algébrica r entre o hiperplano e os dados. A Eq. 6 descreve a distância que separa duas classes, adotada como ρ . Assim, se o objetivo é maximizar a distância do hiperplano aos pontos que separa as duas classes, isso é equivalente a dizer que é necessário se minimizar a distância euclidiana de w_0 (Haykin, 2009).

$$g(x) = w_0^T \cdot x + b_0 \quad (3)$$

$$g(x) = w_o^T \cdot x + b_o = w_o^T \cdot x + b_o = r w_o \quad (4)$$

$$r = \frac{g(x)}{w_o} \quad (5)$$

$$\rho = 2r = \frac{2}{w_o} \quad (6)$$

2.1.2. Problemas Linearmente Separáveis

De acordo com Battineni, Chintalapudi e Amenta (2019) , se a dimensão de um determinado conjunto de dados linearmente não separáveis pertencentes ao \mathbb{R}^n for aumentada, na nova dimensão esses dados poderão se tornar linearmente separável, ou seja, um determinado conjunto de exemplos de baixa dimesionalidade é transformado em um de alta dimensão, logo, é possível encontrar um hiperplano que faça a separação desses dados (Li, Chung & Wang, 2015). Essa abordagem de aumentar a dimensão do conjunto é chamada de *Kernel*. O gráfico da Figura 1 mostra a realização do *kernel* onde os valores do R^1 foram elevados a potência 2, sendo assim transformando em um elemento do R^2 .

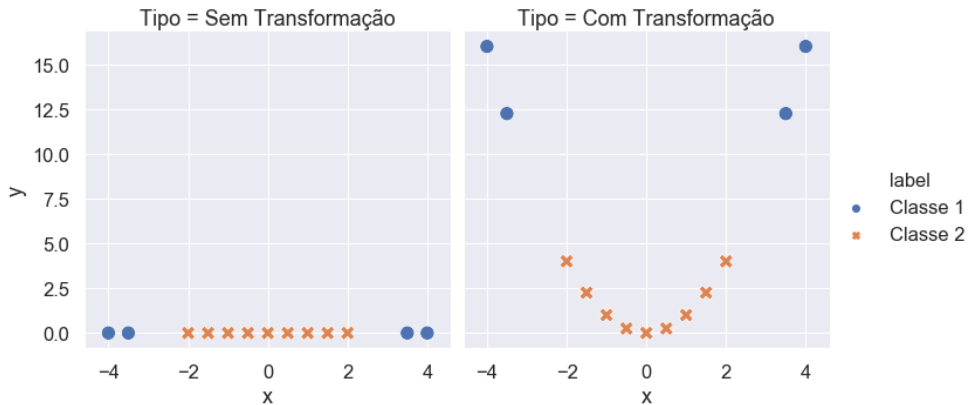


Figura 1 – Aplicação de equação do segundo grau em dados (Autoria Própria).

2.1.3. Kernel

De acordo com Géron (2011), *Kernel* é uma técnica utilizada para tornar um problema não linear, em um linear. Dado um determinado conjunto de dados não lineares em um determinado espaço N-Dimensional, através do aumento da dimensão destes dados, é possível que esse mesmo conjunto se faça linear. Entre as funções de *Kernel*, a *Radial Basis Function* (RBF) é descrita pela Eq. 7 (Shankar et al., 2018).

$$k(a,b) = e^{\frac{a-b^2}{2\bar{A}^2}} \quad (7)$$

2.1.4. Regularização

Em alguns modelos de ML existem lacunas que podem comprometer o funcionamento do sistema. Assim, existem técnicas de regularização que amenizam esses erros associados. O parâmetro de regularização dado como C controla o compromisso do hiperplano para uma melhor separação entre os dados (Reeves; Jacyna, 2011). Em outras palavras, pode-se dizer que esse parâmetro indica se o hiperplano será muito estrito de forma a separar muito bem os dados minimizando a sua margem, ou aumentando a margem e obtendo assim alguns pontos fora do padrão de classificação, chamados de *outliers*.

2.2. Multilayer Perceptron - MLP

De acordo com Ansari et al. (2018), a MLP é uma das ANNs mais práticas, onde seu funcionamento começa na inserção de uma informação na entrada, que será induzida a partir das ligações entre os neurônios (sinapses), chamados de pesos, seguindo até a camada de saída, onde a ANN irá responder de acordo com os ajustes das sinapses. Nas estruturas da MLP, os pesos são responsáveis por interligar todos os neurônios das camadas de entrada, ocultas e de saída.

Segundo Ahmad et al. (2018), o neurônio é um componente fundamental responsável pelo processamento da informação. O sinal de entrada do neurônio é dado pela Eq. 8 onde x_i e w_i são a saída e peso do neurônio da camada anterior i -ésimo conectado ao neurônio em que se deseja analisar. Dada uma função de ativação ϕ , a saída do neurônio em análise é dada pela Eq. 9 ou em termos matriciais conforme a Eq. 10, onde x é um vetor de entrada e w um vetor de pesos associados ao neurônio.

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (8)$$

$$O = \phi \left(\sum_{i=1}^m w_i x_i \right) \quad (9)$$

$$O = \phi(w^T x) \quad (10)$$

Quando a informação que está sendo propagada por toda a estrutura da ANN chega à camada de saída, de acordo com Lassoued, Ketata e Yacoub (2018) e Ahmad et al. (2018), a saída pode ser avaliada pela equação do erro médio quadrático (MSE), dado pela Eq. 11, assim como também sua acurácia pela Eq. 12, sendo O_i o numero de acertos e N a quantidade de amostras. Uma vez que o erro é calculado, os pesos são ajustados através do algoritmo *Backpropagation*, cuja função é corrigir os pesos através do erro associado a cada neurônio.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - O_i)^2 \quad (11)$$

$$Acurácia = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i \cdot 100\% \quad (10)$$

3. Metodologia

Para se realizar o presente trabalho, foi necessário executar o procedimento resumido pelo fluxograma da Fig. 2.

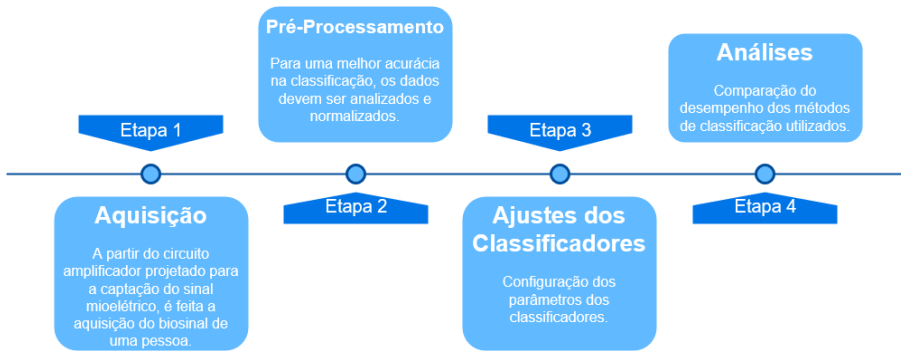


Figura 2 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho (Autoria Própria).

3.1. Aquisição dos dados

Adquiriu-se um banco de dados do sinal mioelétrico. A captação foi feita utilizando um circuito de aquisição próprio para EMG. O sinal mioelétrico extraído foi de um dos integrantes do projeto de pesquisa, onde foi solicitado que o mesmo efetuasse 4 movimentos por 40 segundos cada, intervalando entre manter o braço relaxado e fazer a execução do movimento, para um banco de dados de análise e mais 40 segundos para um banco de dados de teste. Com base no trabalho Silva, Silva e Brito-Filho (2019) ajustou-se a frequência de aquisição para 1 kHz, onde foram feitos agrupamentos de 100 em 100 dados, onde esse processo é chamado de janelamento. Os movimentos realizados para a aquisição foram:

- Contração do Dedo Indicador – CDI;
- Contração da Mão – CM;
- Movimento Pinça – MP;
- Contração do Dedo Polegar – CDP.

Vale ressaltar que o movimento Pinça é realizado pela junção do dedo indicador e o polegar enquanto os demais dedos estão relaxados e a mão relaxada é dada como MR.

3.2. Pré-Processamento

Para que as metodologias utilizadas nesse trabalho tenham uma melhor acurácia na classificação do biosinal, é necessário que se faça um pré-processamento nos dados ao invés de processá-los diretamente. Visto que os dados da aquisição são ruidosos, no trabalho de Liang et al. (2019) são abordadas funções que tem como objetivo remover esse ruído, extraíndo as principais características de um conjunto de dados. As funções utilizadas no trabalho foram escolhidas com base no artigo de Amorim et al. (2018) sendo elas: IEMG, MAV, SSI, RMS, LOG, WL, AAC e a DASDV.

3.2.1. Rotulação dos Dados

Para se fazer a classificação dos dados, é necessário separar grupos de acordo com o movimento, assim como também definir um valor correspondente a esses grupos. Assim, os rótulos dos movimentos foram:

- Mão Aberta – MA – 0;
- Contração do Dedo Indicador – CDI – 1;
- Contração da Mão – CM – 2;
- Movimento Pinça – MP – 3;
- Contração do Dedo Polegar – CDP – 4;

Para a classificação utilizando a MLP, utilizou-se processo de *One Hot Encoder*, onde esse transforma os rótulos em N valores, sendo N o número de classes de dados, conforme mostra os dados da Tabela 1. Esse método facilita quando se utiliza funções de ativação onde seus valores podem chegar até 1, como a *sigmoide*. Além disso, como a ANN não gera valores inteiros em sua saída, é fácil saber qual é a classificação de acordo com a saída dos neurônios da camada de saída através da posição do neurônio que gerou o maior valor.

Classe	MA	CDI	CM	MP	CDP
0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	1

Tabela 1 – Dados de saída para treinamento utilizando *One Hot Encoder*

3.3. Ajustes dos Parâmetros dos Classificadores

Para que os classificadores venham a convergir, é necessário se regular algumas propriedades dos classificadores tanto na ANN como na SVM. No caso da SVM, ajustou-se o parâmetro de regularização para um valor alto, fazendo com que a margem entre o plano que separa os dados seja pequena, aumentando assim a acurácia na classificação dos dados. Para o valor do parâmetro de ajuste do *kernel*, utilizou-se um valor baixo.

Para a ANN, foi necessário definir a quantidade de camadas intermediárias, a taxa de aprendizagem e a quantidade de neurônio em cada camada. Como se está trabalhando com um problema não linear, utilizou-se mais de uma camada na ANN. A taxa de aprendizagem foi pequena, para que a ANN tivesse o melhor aprendizado.

4. Resultados

4.1. Aquisição dos dados

Os dados das aquisições feitos para o movimento de contração da mão dos dois canais estão dispostos pela Fig. 3 em um tempo de 40 segundos. É perceptível que o sinal tem um baixo ruído em ambos os canais, assim como também os intervalos entre mão contraída e relaxada. A amplitude do sinal chega a um pouco mais de 2V no primeiro canal, enquanto no segundo obteve-se uma amplitude de aproximadamente 500 mV.

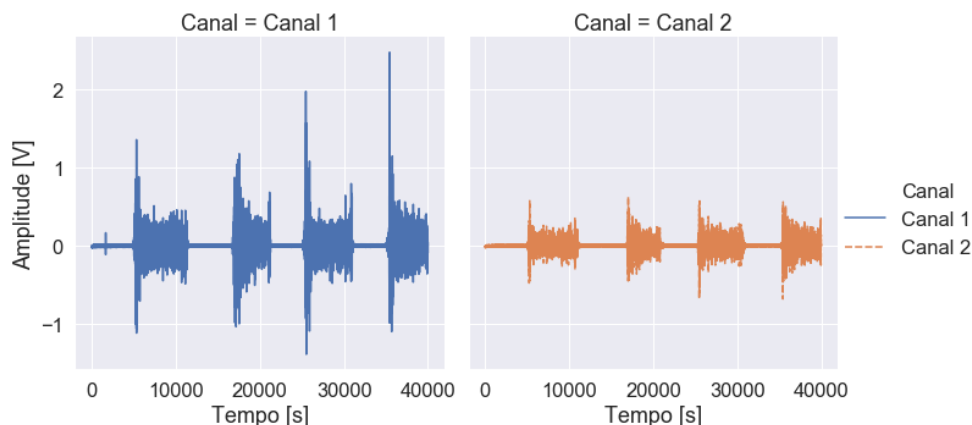


Figure 3 – Aquisição do sinal mioelétrico de dois canais diferentes (Autoria Própria).

4.2. Pré-Processamento dos Sinais

A partir dos dados, aplicou-se as funções para extração das principais características do janelamento do sinal descritas na seção 3.2 em todos os sinais dos movimentos realizados. A Fig. 5 mostra os dados da contração da mão aplicando cada função. É possível observar que agora se tem 400 dados ao invés de 40000 e que boa parte do ruído oriundo do circuito analógico foi retirado.

O banco de dados para treinamento dos métodos ficou com um tamanho de 1600 dados, onde serão 16 dados de entradas para os classificadores referentes a 8 funções nos dois canais. O banco de dados de saída está disposto conforme a Fig. 6.

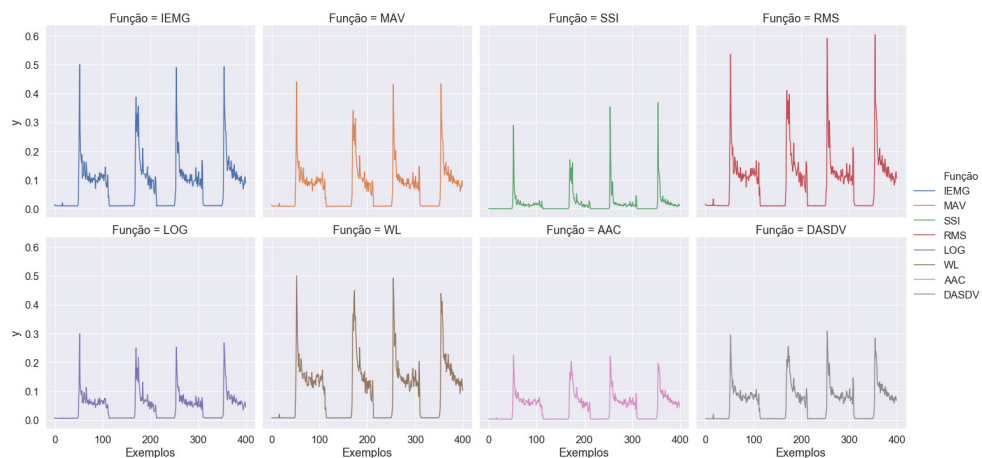


Figure 5 – Aplicação das funções estatísticas para pré-processamento dos janelamentos (Autoria Própria).

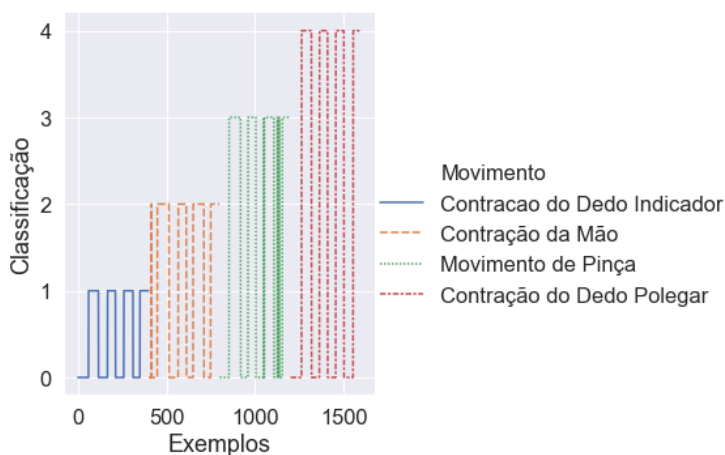


Figure 6 – Saída para cada tipo de movimento (Autoria Própria).

4.3. Classificação dos Dados

O parâmetro de regularização foi ajustado para 300 e o valor de *gamma* para 0,1. A ANN foi configurada com quatro camadas intermediárias com 100, 50, 50, 30 neurónios respectivamente. Em todas as camadas intermediárias, utilizou-se a função de ativação *ReLU* em todos os neurónios, e na camada de saída utilizou-se a função *sigmoide*.

4.3.1. SVM

Para se convergir a SVM, foram necessárias 10 iterações, onde cada uma demorou 46 ms com mais ou menos 3.93 ms. Sua resposta é dada pela matriz de confusão representada na Fig. 7, cuja acurácia foi de 84,69%.

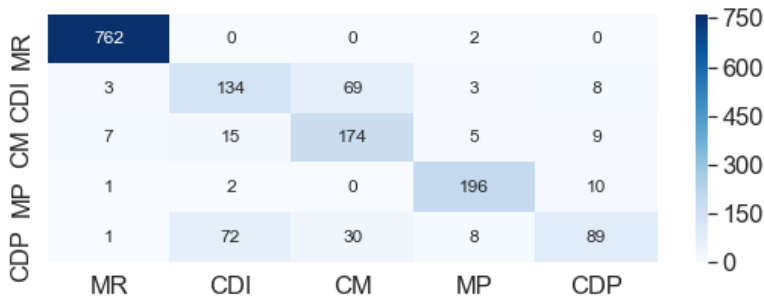


Figure 7 – Matriz de confusão dos dados de validação utilizando SVM (Autoria Própria).

É perceptível que os movimentos com melhores classificações foram o de contração da mão, assim como também o movimento pinça. No movimento de contração do dedo polegar teve uma baixa acurácia, confundindo principalmente com a contração do dedo indicador.

4.3.2. ANN

Foram utilizadas 1000 épocas para se treinar a ANN, onde a Fig. 8 mostra seu gráfico de treinamento e validação em relação ao MSE e a acurácia do banco de dados para treinamento e validação. Todo o treinamento levou 5 min.

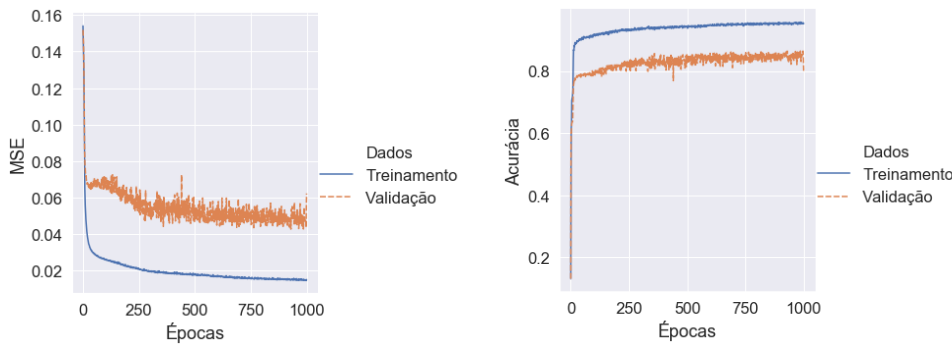


Figure 8 – MSE e acurácia da RNA ao longo de 1000 épocas de treinamento (autoria Própria).

Com a ANN treinada, construiu-se a matriz de confusão como mostra a Fig. 9 com uma acurácia de 83,75%.

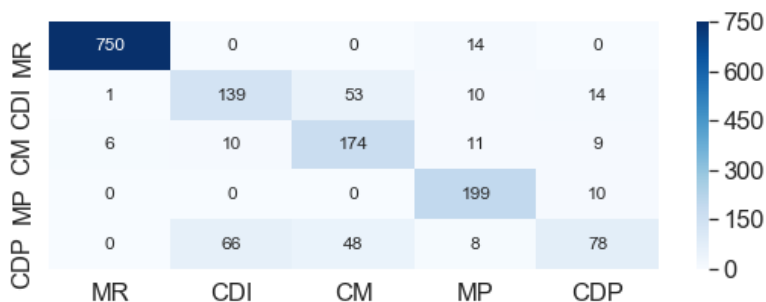


Figure 9 – Matriz de confusão dos dados de validação utilizando MLP (Autoria Própria).

É possível visualizar que a MLP teve melhores classificações nos movimentos de contração da mão e na reprodução da pinça. E suas classificações mais baixas foram na classificação dos movimentos de contração do dedo indicador e do polegar.

5. Conclusão

Através desse trabalho foi possível observar o comportamento da SVM e da ANN diante da classificação do sinal mioelétrico com a etapa de pré-processamento aplicada aos dados. O pré-processamento por sua vez, fez com que boa parte do ruído inerente a aquisição fosse removido, extraíndo assim valores característicos dos janelamentos dos dados. Vale ressaltar que no trabalho proposto utilizou-se apenas 2 canais, ou seja, todo o processamento foi feito em apenas duas regiões, o que delimita o campo de análise dos classificadores.

Diante da acurácia dos classificadores, é possível dizer que ambos estão aptos a atuarem em uma prótese inteligente para se fazer a classificação dos dados e reproduzir seus devidos movimentos. Os erros mostrados na matriz de confusão foram maiores em relação ao movimento de contração do dedo polegar e indicador, onde esse erro é possivelmente devido ao posicionamento do eletrodo, pois dependendo da localização, é possível pegar dados com bastante ruído e baixa amplitude.

Em todo o processo, a SVM tomou vantagem em relação a MLP principalmente por questões de tempo necessário para se convergir, assim como também o custo computacional requerido. Nos dois métodos, obteve-se acurácias de 83,75% para a MLP e 84,69% para a SVM, com uma pequena diferença de 0,94%. Desconsiderando o fator de custo computacional, os dois métodos são equivalentes.

Referências

- Ahmad, Jawad, Butt, Ammar Mohsin, Hussain, Mohsin, Akbar, Muhammad Azeem, & Rehman, Waheed Ur (2018). *2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*. In N.I, (pp. Xi'an). N.I: IEEE. doi: 10.1109/imceec.2018.8469534
- Amorim, A. F., Brito Filho, F. A., Silva, G. L., Almeida, L. D., Maria Júnior, R. F. & Silva, N. F. (2018). XXII Congresso Brasileiro de Automática. In N.I, (pp. João Pessoa, Paraíba, Brasil). N.I: SBA Sociedade Brasileira de Automática. doi: 10.20906/cps/cba2018-1290
- Ansari, H.R., Zarei, M.J., Sabbaghi, S., & Keshavarz, P. (2017). A new comprehensive model for relative viscosity of various nanofluids using feed-forward back-propagation MLP neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91(2), 158-164. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.12.012
- Battineni, Gopi, Chintalapudi, Nalini, & Amenta, Francesco (2019). Machine learning in medicine: Performance calculation of dementia prediction by support vector machines (SVM). *Informatics in Medicine Unlocked*, 16, 100200. doi: 10.1016/j.imu.2019.100200
- Bilbao, Imanol, & Bilbao, Javier (2018). Overfitting problem and the over-training in the era of data: Particularly for Artificial Neural Networks (2017). *Eighth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*. IEEE. doi: 10.1109/intelcis.2017.8260032
- Carrio, Adrian, Sampedro, Carlos, Rodriguez-Ramos, Alejandro, & Campoy, Pascual (2017). A Review of Deep Learning Methods and Applications for Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Sensors* (2017), (pp. 1-13). doi: 10.1155/2017/3296874
- Géron, Aurélien (2017). Support Vector Machines. In: Géron, Aurélien. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn & Tensorflow: Concepts, Tools and Techniques to Build Intelligent Systems.*, (pp 145-164). Sebastopol: Oreilly.
- Haykin, Simon (2009). Introduction: What is a Neural Network?. In: Haykin, Simon. *Neural Networks and Learning Machines*, (pp 1-3). Ontario, Canada: Pearson.
- Kumar, Dinesh K., Jelfs, Beth, Sui, Xiaohong, & Arjunan, Sridhar P. (2019). Prosthetic hand control: A multidisciplinary review to identify strengths, shortcomings, and the future. *Biomedical Signal Processing and Control*, 53(8), 101588. doi: 10.1016/j.bspc.2019.101588
- Lassoued, Hela, Ketata, Raouf, & Yacoub, Slim (2019). ECG Decision Support System based on feedforward Neural Networks. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 11(9), 1-15. doi: 10.21307/ijssis-2018-029
- Li, Huan, Chung, Fu-lai, & Wang, Shitong (2015). A SVM based classification method for homogeneous data. *Applied Soft Computing*, 36(11), (pp. 228-235). doi: 10.1016/j.asoc.2015.07.027

- Liang, Shili, Wu, Yansheng, Chen, Jianfei, Zhang, Ling, Chen, Peipei, Chai, Zongqian, & Cao, Chunlei (2019). Identification of Gesture Based on Combination of Raw sEMG and sEMG Envelope Using Supervised Learning and Univariate Feature Selection. *Journal of Bionic Engineering*, 16(7), (pp. 647-662). doi: 10.1007/s42235-019-0052-1
- Liao, Li-Zhi, Tseng, Yi-Li, Chiang, Hsin-Han, & Wang, Wei-Yen (2019). 2018 International Automatic Control Conference (CACS). Taoyuan: IEEE. doi: 10.1109/cacs.2018.8606762
- Liu, Weibo, Wang, Zidong, Liu, Xiaohui, Zeng, Nianyin, Liu, Yurong, & Alsaadi, Fuad E. (2016). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, 234(4), (pp. 11-26). doi: 10.1016/j.neucom.2016.12.038
- Reeves, D. M., & Jacyna, G. M. (2011). Support vector machine regularization. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3(3), (pp. 204-215). doi: 10.1002/wics.149
- Samuel, Oluwarotimi Williams, Zhou, Hui, Li, Xiangxin, Wang, Hui, Zhang, Haoshi, Sangaiah, Arun Kumar, & Li, Guanglin (2017). Pattern recognition of electromyography signals based on novel time domain features for amputees' limb motion classification. *Computers & Electrical Engineering*, 67(4), (pp. 646-655). doi: 10.1016/j.compeleceng.2017.04.003
- Shankar, K., Lakshmanaprabu, S. K., Gupta, Deepak, Maseleno, Andino, & de Albuquerque, Victor Hugo C. (2018). Optimal feature-based multi-kernel SVM approach for thyroid disease classification. *The Journal of Supercomputing*. doi: 10.1007/s11227-018-2469-4
- Silva, G. L., Silva, N. F., & Brito-Filho, F. (2019). Prótese mioelétrica 3D inteligente utilizando redes neurais artificiais e internet das coisas para auxílio a reabilitação de soldados em ambientes remotos. *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação*, 431-441.
- Vijayarajeswari, R., Parthasarathy, P., Vivekanandan, S., & Basha, A. Alavudeen (2019). Classification of mammogram for early detection of breast cancer using SVM classifier and Hough transform. *Measurement*, 146(11), (pp. 800-805). doi: 10.1016/j.measurement.2019.05.083

Modelo conceptual de factores y su influencia en los niveles de desarrollo del e-gobierno municipal

Vicente Morales^{1,2}, Sussy Bayona¹

jose.morales1@unmsm.edu.pe, sbayonao@hotmail.com

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Germán Amézaga s/n, 15081, Lima, Perú.

² Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 28–41

Resumen: La mayoría de estudios acerca de factores críticos en la implementación y desarrollo de e-gobierno apuntan a entornos nacionales. El propósito de este estudio es determinar cómo estos factores influyen en cada nivel de desarrollo de e-gobierno locales. A través de un estudio empírico y con la aplicación de análisis multivariante y la técnica de componentes principales se determinó que todos los factores propuestos poseen las características de esfericidad necesarias para indicar que las variables están relacionadas entre sí. Además, la prueba de KMO con un 95% de confianza, verificó que 27 de las 55 relaciones fueron válidas. Los resultados también indican qué factores son los más influyentes en cada nivel de desarrollo de e-gobierno, lo cual permitió validar el modelo en estudio.

Palabras-clave: Factores críticos; e-gobierno; influencia de factores; modelo de e-gobierno; niveles de desarrollo.

Conceptual model of factors and their influence on the levels of municipal e-government development

Abstract: Most studies about critical factors in the implementation and development of e-government point to national environments. The aim of this paper is to determine how these factors influence each level of local e-government development. Through an empirical study and with the application of multivariate analysis and the main component technique, it was determined that all the proposed factors have the necessary sphericity characteristics to indicate that the variables are related to each other. In addition, the KMO test with 95% confidence verified that 27 of the 55 relationships were valid. The results also indicate which factors are the most influential in each level of e-government development, which allowed validating the model under study.

Keywords: Critical factors; e-government; influence of factors; e-government model; development levels.

1. Introducción

Los factores pertinentes a la administración pública aún no se han investigados y analizados a profundidad (Elkadi, 2013). Por lo tanto, se debe considerar varios factores de éxito que varían dependiendo de las particularidades del entorno social, cultural y político (Franke, Kroenung, Born, & Eckhardt, 2015). Muchos factores de éxito han sido identificados en la literatura, pero ningún estudio examina los factores de éxito en diferentes etapas de madurez del e-gobierno (Müller & Skau, 2015). El gobierno del Ecuador, a través del Plan Nacional de Desarrollo y con el objetivo de mejorar la eficiencia en la gestión pública ha impulsado la simplificación de trámites, así como la reducción de los costos para la ciudadanía (PND, 2017). El Plan Nacional de Gobierno Electrónico, tiene por objetivo facilitar a los ciudadanos involucrarse, de manera activa, en las decisiones que adopta el Gobierno, para ampliar y mejorar el acceso a los servicios e información pública (PNGE, 2018).

El propósito de esta investigación es determinar cómo los factores críticos de éxito (FCE) influyen en cada nivel de desarrollo del e-gobierno. Por lo tanto, se propone un modelo con factores relacionados con cada una de los niveles de desarrollo del e-gobierno local. Se realizó un estudio empírico en 105 encuestados, obteniéndose a partir del análisis multivariante y de la técnica de componentes principales que todos los factores propuestos poseen las características de esfericidad necesarias para indicar que las variables están relacionadas entre sí.

El resto del artículo está organizado así: En la sección 2 se presentan los antecedentes y la motivación del estudio. En la sección 3 se presenta la influencia de factores en el desarrollo de e-gobierno. En la sección 4 se presenta la metodología de investigación para validar factores, hipótesis y modelo. Los resultados y discusión se presentan en la sección 5. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección 6.

2. Antecedentes y motivación

2.1. Modelos de e-gobierno

Durante las últimas décadas, las administraciones públicas locales han buscado nuevas formas de proporcionar servicios públicos a través de Internet desarrollando proyectos de e-gobierno. Para obtener información sobre el progreso de los proyectos de e-gobierno, se han desarrollado varios modelos para evaluar y clasificar los sitios web de e-gobierno, pudiendo identificar uno de los enfoques que analiza los niveles de desarrollo del proceso de e-gobierno (Rodrigues, 2018). Los primeros modelos de etapas de e-gobierno se propusieron alrededor del año 2000 (Debrí & Bannister, 2015). La evolución del e-gobierno ha sido históricamente monitoreada por gobiernos nacionales y agencias multilaterales como las Naciones Unidas (United Nations, 2018). Sin embargo, el análisis longitudinal a nivel micro de las trayectorias de e-gobierno es un hallazgo raro en la literatura de la administración pública (Manoharan, Mossey, Zhao, & Viswanath, 2019).

2.2. Niveles de desarrollo de e-gobierno

Los niveles de desarrollo son una sucesión de etapas de madurez que requieren la integración continua de dispositivos de diferentes niveles de tecnología y sofisticación en los sitios web. Por lo tanto, estos modelos tienen un enfoque principalmente tecnológico (Rodríguez, 2018). El estudio realizado por Esteves (2005) fue ampliado a los países latinoamericanos para conocer el grado de implantación y desarrollo de los servicios de administración electrónica en el ámbito municipal. La investigación realizada ha tenido por objetivo la identificación del nivel de desarrollo de los servicios de e-gobierno en el entorno municipal, y el análisis estadístico de datos obtenido en base a diferentes criterios ha permitido obtener algunos resultados que pueden ser orientativos acerca de las tácticas utilizadas por las ciudades a la hora de ofrecer servicios (Esteves, 2005).

2.3. Factores críticos de éxito

Los FCE pueden resultar a través de una revisión de publicaciones, así como de un análisis de metas y objetivos del personal clave de la administración (Khodaveysi, 2016). La identificación de los FCE y la determinación de su influencia en la implementación del e-gobierno ayudan a alcanzar un proyecto de e-gobierno con éxito evitando la probabilidad del fracaso (Gil-García & Pardo, 2005; Altameem, Zairi, & Alshawi, 2006). En la investigación realizada por Morales & Bayona (2019), y luego de una exhaustiva revisión de la literatura se identificó los FCE que influyen en la implementación y desarrollo de e-gobierno, cuyo ranking de factores está conformado por infraestructura de TIC, seguridad, apoyo de la alta gerencia, cultura, financiero o económico, estrategia, capacitación, conciencia, compromiso político, liderazgo, y marco legal o regulatorio.

3. Influencia de factores en el desarrollo de e-gobierno

En esta sección, se analizan la relevancia de los FCE y su influencia en la implementación de e-servicios por niveles o etapas de desarrollo de e-gobierno.

3.1. Niveles de desarrollo de e-gobierno

Los niveles de desarrollo considerados para este estudio se basan en la propuesta del modelo de e-gobierno por etapas que está estructurado en 5 niveles de desarrollo. Este modelo de e-gobierno ha sido estudiado, utilizado y modificado por varios autores, y también aplicado en el entorno latinoamericano (Esteves, 2005; Aramouni & Pando, 2006; Gómez, 2007). Los modelos de desarrollo de e-gobierno por etapas son los que han tenido mayor aceptación y aplicación en entornos de gobiernos locales (Bayona & Morales, 2015) (ver Tabla 1).

Nv.*	Etapas o Nivel	Descripción
1	Presencia	Los e-servicios proporcionan información en línea a los ciudadanos. Incluye herramientas de búsqueda básicas que permiten la descarga de archivos y formularios. No existe mayor relación con los ciudadanos.
2	Información urbana	Proporciona información sobre mapas de calles y transporte urbano. Esta información a veces exige herramientas tecnológicas como GIS o la posibilidad de una búsqueda rápida.

Nv.*	Etapas o Nivel	Descripción
3	<i>Interacción</i>	Considera la comunicación simple entre los ciudadanos y la municipalidad. El contacto se realiza por teléfono o correo electrónico. Se puede presentar denuncias o quejas, agendar citas o contar con formatos descargables para el prellenado.
4	<i>Transacción</i>	Incluye servicios que permiten una comunicación bidireccional entre los ciudadanos y la municipalidad como autenticación, procesamiento de solicitudes, etc. Permite iniciar, realizar el seguimiento y finalizar cualquier trámite en línea.
5	<i>e-Democracia</i>	Incluye servicios de participación ciudadana como foros, blogs, chats, encuestas en línea, transmisiones en vivo, etc. sobre temas municipales.

Nv.* – Nivel de desarrollo de e-gobierno (basado en Esteves, 2005)

Tabla 1 – Niveles de desarrollo de e-gobierno

3.2. Análisis y sustentación de factores

A través de la revisión exhaustiva de la literatura se han identificado varios factores que inciden en la implementación y desarrollo del e-gobierno. Para el presente estudio se analizan 11 factores críticos de éxito considerados de mayor significancia (Morales & Bayona, 2019). Los factores críticos de éxito con sus respectivas definiciones resumidas se pueden ver en la Tabla 2.

Id.	FCE	Definición
<i>F1</i>	<i>Infraestructura TIC</i>	Conjunto de recursos de tecnología física, incluida la tecnología compartida y los servicios de tecnología en toda la organización que proporcionan una base para los servicios relacionados con las TIC (Pudjianto & Hangjung, 2010).
<i>F2</i>	<i>Seguridad</i>	Los problemas de seguridad generalmente consisten en seguridad informática, privacidad y confidencialidad de los datos personales (Layne & Lee, 2001; Smith & Jamieson, 2006; Al-Khouri y Bal, 2007).
<i>F3</i>	<i>Apoyo de la alta gerencia</i>	El apoyo y el compromiso de la Alta gerencia se requieren durante el período de desarrollo de e-gobierno para proporcionar y asignar recursos suficientes, y evitar la resistencia al cambio (Al-naimat et al., 2013).
<i>F4</i>	<i>Cultura</i>	La cultura son valores, suposiciones y creencias que comparten los miembros de la organización. La cultura organizacional es fundamental para el desarrollo y para romper barreras culturales que se impregnan en casi todas las organizaciones (Altameem et al., 2006).
<i>F5</i>	<i>Financiero o económico</i>	El financiamiento económico facilita la infraestructura necesaria para implementar el e-gobierno, y ayudar a lograr los objetivos e hitos asociados en términos de implementación y desarrollo de e-gobierno (El-haddadeh et al., 2010).
<i>F6</i>	<i>Estrategia</i>	Los gobiernos deben tener una buena visión y estrategia antes del inicio de los proyectos de e-gobierno para asegurar el éxito esperado (Al-kaabi, 2010).
<i>F7</i>	<i>Capacitación</i>	La capacitación está asociada con alentar a los ciudadanos a aceptar y usar el e-gobierno ayudándolos a usar aplicaciones de computadora e Internet (Al-naimat et al., 2013).
<i>F8</i>	<i>Conciencia</i>	Crear conciencia sobre el e-gobierno es la etapa inicial en el desarrollo de e-gobierno, con el fin de evitar la resistencia y estimular un crecimiento exitoso (Al-naimat et al., 2013).

Id.	FCE	Definición
F9	Compromiso político	Para que cualquier reforma pueda materializarse, el compromiso político se considera el criterio más importante, en especial en el contexto de las naciones en desarrollo (Ndou, 2004; Rahman et al., 2014).
F10	Liderazgo	El liderazgo en un contexto de e-gobierno está estrechamente relacionado con el contexto político, ya que el éxito depende del nivel de compromiso y la visión innovadora mostrada por los gobernantes al momento de la implementación de e-gobierno (El-haddadeh et al., 2010).
F11	Marco legal o regulatorio	El marco legal debe estar actualizado cuando se implementen servicios de e-gobierno, con el fin de garantizar la seguridad y privacidad de la información ciudadana (Müller & Skau, 2015).

Tabla 2 – Definiciones resumidas de los factores críticos de éxito (FCE)

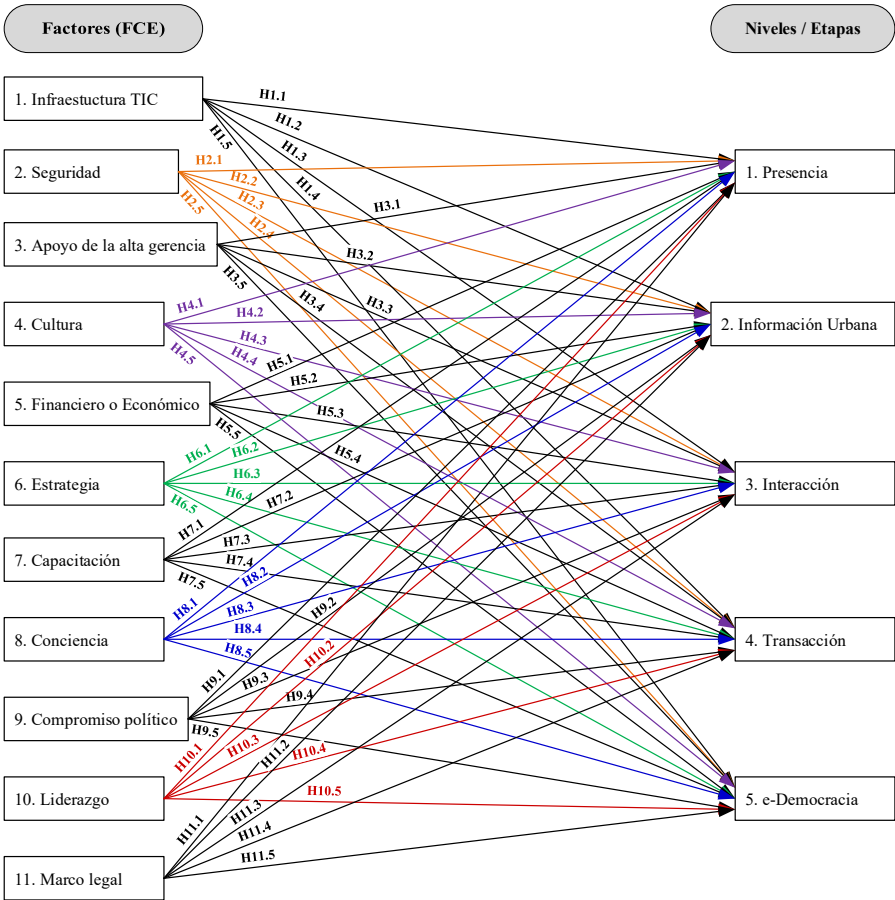


Figura 1 – Modelo conceptual inicial (relaciones entre factores y niveles de desarrollo)

3.3. Hipótesis

A través de la revisión de la literatura no se identificó estudios que se hayan realizado de forma explícita que relacionen factores con niveles de desarrollo de e-gobierno y se determine su influencia en la implementación de e-servicios en entornos locales. Por lo tanto, después de identificar los factores críticos de éxito y los niveles de desarrollo del e-gobierno, se establecieron las relaciones entre “Factores y Niveles”, para cumplir el objetivo de la investigación en curso, y se formularon, inicialmente 55 hipótesis como se muestra en la Figura 1.

3.3.1. *Influencia del factor de factores y niveles de desarrollo*

Tomando en cuenta las definiciones dadas en diferentes estudios a través de la revisión de la literatura, se determinó que cada uno de los factores afectarán positivamente la implementación de e-servicios en los diferentes niveles de desarrollo de e-gobierno. En base a todas las posibles relaciones establecidas entre factores y niveles de desarrollo de e-gobierno, se determinó las hipótesis de estudio del modelo teórico de investigación y su influencia de factores y niveles de desarrollo en el proceso de implementación de e-servicios municipales (Ver Figura 1).

4. Metodología

4.1. Recolección de datos

En la presente investigación se desarrolló una encuesta en línea (Survey Google Form, 2019). La encuesta se aplicó a profesionales que laboraban en las direcciones de TIC de los municipios y a académicos con conocimientos acerca de la gestión del e-gobierno. El objetivo de la encuesta fue determinar la percepción de los funcionarios municipales responsables de TIC, en relación con los factores que influyen en los niveles de desarrollo del e-gobierno. La encuesta se estructuró en 3 secciones: i) datos generales (7 preguntas), ii) percepción acerca de los factores que influyen en cada nivel de desarrollo del e-gobierno (55 preguntas), y iii) preguntas complementarias (3 preguntas). Las preguntas en la sección 2 se evaluaron con la escala de Likert de acuerdo con una calificación de cinco valores que permitan definir el grado de acuerdo-desacuerdo en la influencia de cada factor en los niveles de desarrollo del e-gobierno municipal así: (1) Muy en Desacuerdo; (2) En Desacuerdo; (3) Indiferente; (4) De Acuerdo; (5) Muy de Acuerdo.

A partir de una prueba piloto se calcula la confiabilidad y la validez iniciales del instrumento de medición (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por lo tanto, después de preparar la encuesta, se llevó a cabo la prueba piloto, la cual fue aplicada a 20 técnicos de las direcciones municipales de TIC. La aplicación de esta prueba permitió corregir algunos aspectos como disminuir las preguntas generales, corregir las preguntas complementarias y disminuir el texto redundante en las preguntas.

Para el presente estudio se consideró 221 participantes potenciales (municipios) que constituyen la población total y que fueron invitados a participar de la encuesta online durante un período de un mes. Un total de 105 invitados respondieron la encuesta, y la tasa de respuesta fue del 45.5% considerada como aceptable para una encuesta por vía

online (Bryman, 2004; Puron-Cid, 2014; Panopoulou, Tambouris, & Tarabanis, 2014). Cabe indicar que se descartaron 8 encuestas por tener respuestas incongruentes.

4.2. Análisis de resultados

El instrumento de medición utilizado para el análisis de los datos fue el cuestionario, por lo tanto, se realizaron los siguientes análisis estadísticos sobre los datos obtenidos: 1) Confiabilidad de los datos (prueba de confiabilidad usando el Alfa de Cronbach); 2) Análisis descriptivo de la población; 3) Análisis multivariante (análisis a partir de la técnica de Componentes Principales obteniéndose que todos los factores propuestos poseen las características de esfericidad necesarias para indicar que las variables están relacionadas entre sí), y 4) Prueba de KMO (prueba para determinar cuáles relaciones o hipótesis son válidas)

5. Resultados y discusión

5.1. Confiabilidad de los datos

Para estimar la confiabilidad del instrumento de medición, se ha utilizado el Alfa de Cronbach, a través de una prueba piloto con 20 participantes. Cuanto más cercano sea el valor de alfa a 1, mayor será la consistencia interna de los elementos analizados, y la validez de un instrumento es aceptable si tiene un valor superior a 0.70 (Streiner, 2003; Bojórquez, López, Hernández, & Jiménez, 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos con el software SPSS versión 20, el coeficiente de Alfa de Cronbach total del instrumento fue igual a 0.969 (ver Tabla 3). Por lo tanto, el instrumento de medición resulto ser confiable.

Estadísticos de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.969	.971	55

Tabla 3 – Resultados con SPSS en la confiabilidad del instrumento de medición.

La media, la varianza y la moda de las respuestas de los encuestados se calcularon, con respecto al punto de vista que tienen, en relación con los factores que influyen en los niveles de desarrollo de e-gobierno. El promedio de la media de la percepción de los encuestados es (4.1861) mayor que cuatro, lo que significa que los factores tienen una gran influencia.

5.2. Análisis Multivariante

El Análisis Factorial (AF) y el Análisis de Componentes Principales (ACP) están muy relacionados y son una técnica de Análisis Multivariante (AM) de reducción de datos. Algunos autores consideran el segundo como una etapa del primero y otros los consideran como técnicas diferentes. En el Análisis de Componentes Principales, el primer factor o

componente sería aquel que explica una mayor parte de la varianza total, el segundo factor sería aquel que explica la mayor parte de la varianza restante, es decir, de la que no explicaba el primero y así sucesivamente. De este modo sería posible obtener tantos componentes como variables originales (Pérez, 2004).

El test KMO (Kaiser, Meyer y Olkin) relaciona los coeficientes de correlación, r_{jh} , observados entre las variables X_j y X_h , y a_{jh} son los coeficientes de correlación parcial entre las variables X_j y X_h . Cuanto más cerca de 1 tenga el valor obtenido del test KMO, implica que la relación entre las variables es alta. Si $KMO \geq 0.9$, el test es muy bueno; notable para $KMO \geq 0.8$; mediano para $KMO \geq 0.7$; bajo para $KMO \geq 0.6$; y muy bajo para $KMO < 0.5$.

La prueba de esfericidad de Bartlett evalúa la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas. El modelo es significativo (aceptamos la hipótesis nula, H_0) cuando se puede aplicar el análisis factorial.

Prueba de esfericidad de Bartlett:

Si Sig. (p-valor) < 0.05 aceptamos H_0 (hipótesis nula) > se puede aplicar el análisis factorial.

Si Sig. (p-valor) > 0.05 rechazamos H_0 > no se puede aplicar el análisis factorial.

Por lo tanto, a través de la prueba de KMO (Tabla 4), con un 95% de confianza, se verifica que 27 de las 55 hipótesis son válidas.

Prueba de KMO y Bartlett	
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	,787
Aprox. Chi-cuadrado	6445,683
Prueba de esfericidad de Bartlett	gl
	1485
	Sig.
	,000

Tabla 4 – Prueba de KMO y prueba de esfericidad de Bartlett

Se rechaza la hipótesis nula, y se acepta hipótesis alternativa con un valor alto de esfericidad. Esto indica que las variables poseen las características de esfericidad necesarias para indicar que las variables están relacionadas entre sí, por lo tanto, se puede aplicar pruebas multivariantes.

5.3. Método de extracción: Análisis de componentes principales (ACP)

Se denomina “comunalidad” a la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable. La comunalidad (h^2) es la suma de los pesos factoriales al cuadrado en cada una de las filas (Pérez, 2004). Aplicado el método de extracción de ACP se obtuvo los valores de Comunalidades que ordenados jerárquicamente permiten visualizar las 27 relaciones más significativas que aportan a la extracción acumulada (Tabla 5).

Comunalidades					
Hipótesis	Inicial	Extracción	Continuación...		
H11.1	1,000	0.899	H4.4	1,000	0.820
H10.1	1,000	0.884	H7.5	1,000	0.820
H2.5	1,000	0.883	H8.3	1,000	0.820
H9.2	1,000	0.883	H6.2	1,000	0.801
H9.4	1,000	0.882	H1.4	1,000	0.799
H10.4	1,000	0.877	H3.1	1,000	0.796
H10.5	1,000	0.876	H8.2	1,000	0.796
H5.5	1,000	0.866	H5.2	1,000	0.787
H9.1	1,000	0.865	H8.1	1,000	0.781
H8.5	1,000	0.861	H11.4	1,000	0.773
H3.3	1,000	0.852	H2.3	1,000	0.771
H6.1	1,000	0.852	H7.3	1,000	0.770
H6.3	1,000	0.852	H4.5	1,000	0.765
H9.5	1,000	0.852	H1.1	1,000	0.760
H8.4	1,000	0.850	H3.4	1,000	0.759
H3.2	1,000	0.849	H5.3	1,000	0.759
H10.2	1,000	0.846	H2.1	1,000	0.752
H4.3	1,000	0.844	H4.2	1,000	0.752
H11.2	1,000	0.844	H2.4	1,000	0.747
H7.2	1,000	0.841	H7.4	1,000	0.747
H6.4	1,000	0.835	H7.1	1,000	0.743
H11.5	1,000	0.834	H3.5	1,000	0.741
H1.5	1,000	0.833	H5.1	1,000	0.722
H10.3	1,000	0.833	H4.1	1,000	0.719
H5.4	1,000	0.831	H1.3	1,000	0.708
H6.5	1,000	0.831	H1.2	1,000	0.693
H11.3	1,000	0.825	H2.2	1,000	0.616
H9.3	1,000	0.823			

Tabla 5 – Valores de Comunalidades aplicando el método de extracción ACP y las 27 hipótesis (relaciones) más representativas

Del análisis estadístico expuesto en esta sección, se consideran los valores de las 27 relaciones más importantes, que se representan de manera que, se absorbe el 95.817% de la varianza (modelo), siendo un valor altamente representativo para el conjunto de datos. La varianza total explicada por los primeros componentes es

del 95.817% de la varianza total explicada. La matriz de componentes nos informa de la relación entre las variables, agrupándolas y, por lo tanto, reduciendo la cantidad de datos originales.

5.4. Análisis de los resultados de Alfa de Cronbach

- Considerando todas las relaciones (ver Tabla 6):

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,973	55

Tabla 6 – Alfa de Cronbach considerando todas las relaciones

En este primer caso, se observa que se presenta un nivel muy alto de consistencia interna de las relaciones.

- Considerando las 27 relaciones más importantes (ver Tabla 7):

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,955	27

Tabla 7 – Alfa de Cronbach considerando 27 relaciones

En este segundo caso, se observa que se mantiene un nivel alto de consistencia interna de las relaciones.

- Considerando solo las 11 relaciones más importantes (ver Tabla 8):

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,883	11

Tabla 8 – Alfa de Cronbach considerando 11 relaciones

En este tercer caso, se pierde mucha información tomando en cuenta solo 11 relaciones, por lo que se recomienda la aplicación de 27 relaciones.

5.5. Modelo Conceptual Final

Finalmente, se puede concluir que con las 27 relaciones se mantiene un nivel alto de consistencia interna de las relaciones (preguntas), por lo tanto, se valida el modelo en estudio. Por lo que, debido a su sustento teórico, constituye un modelo robusto (ver Figura 2).

Discusión y trabajos futuros

Es ampliamente reconocido en la literatura de la administración pública que la participación ciudadana puede desempeñar un papel importante en los procesos de toma de decisiones del gobierno, ayudando a los administradores gubernamentales a ser más responsables, transparentes y productivos. A través del e-gobierno no se trata únicamente de que el gobierno informe a los ciudadanos, sino también que los ciudadanos sean capaces de comunicarse e interactuar más abiertamente con el gobierno. Debido a las restricciones presupuestarias en gobiernos locales de países en vías de desarrollo, por un lado, y al aumento de las demandas de los ciudadanos por el otro, las iniciativas de e-gobierno a menudo representan una combinación de proyectos de interés ciudadano y necesidad financiera. Muchos estudios se han realizado referente a modelos de e-gobierno donde se analizan la presencia y prestación de los e-servicios a la ciudadanía, pero no se han considerado factores que inciden en el desarrollo de un e-gobierno exitoso.

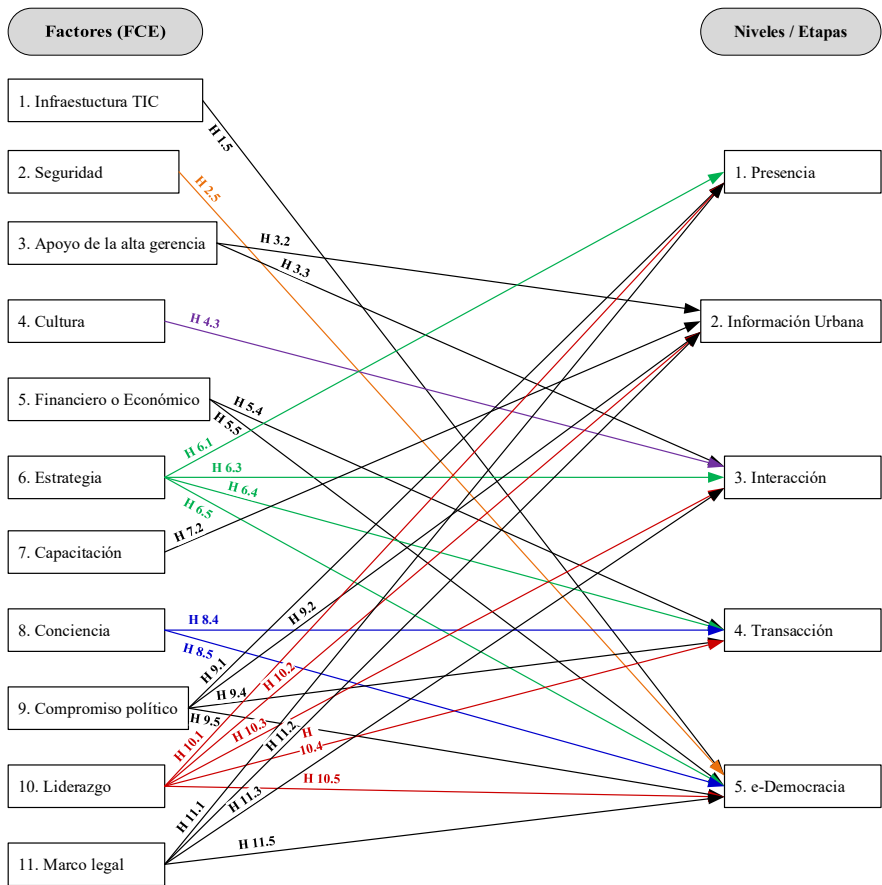


Figura 2 – Modelo conceptual final (influencia entre Factores y Niveles de desarrollo)

6. Conclusiones

A través del estudio realizado se ha determinado que existen factores muy significativos que influyen en la implementación de e-servicios agrupados en niveles de madurez de e-gobierno. Entre los resultados se muestra que los factores más críticos y en el primer nivel de desarrollo del e-gobierno son el marco legal y el liderazgo. El compromiso político juega un papel fundamental en los niveles 1 de la etapa de Presencia, 2 de la etapa de Información urbana y 4 de la etapa de Transacciones. El liderazgo también tiene mucha influencia en los niveles 1 (Presencia), 4 (transacción) y 5 (e-democracia). El aspecto financiero tiene su incidencia importante en las últimas capas o niveles, entre otras consideraciones.

El marco legal es un factor muy importante a tomarse en cuenta, ya que en el primer nivel de desarrollo de e-gobierno, las municipalidades deben difundir información no sólo desde el punto de interés de las autoridades principales, sino que deben cumplir con la publicación de información prevista en la Ley. El liderazgo es otro factor fundamental, especialmente desde la alta dirección, para la toma de decisiones adecuadas y oportunas para lograr el éxito en la prestación de e-servicios a la ciudadanía.

A través de la aplicación de técnicas estadísticas de Análisis Multivariante de reducción de datos como el Análisis Factorial y el Análisis de Componentes Principales se determinó que el modelo conceptual inicial estructurado por factores y niveles de desarrollo de e-gobierno es un modelo robusto. Además, se determinó que de las 55 relaciones iniciales 27 son las más significativas por lo que se dio como aceptadas 27 hipótesis de estudio.

Agradecimientos

El agradecimiento por el apoyo brindado en la investigación a la Universidad Técnica de Ambato, DIDE y Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Referencias

- Al-kaabi, Reem. (2010). Critical Success Factors of e-Government: A proposal model for e-Government implementation in Kingdom of Bahrain. *6th International Conference on e-Government*. Academic Publishing Limited
- Al-Khouri, A. M. & Bal, J. (2007). Electronic government in the GCC countries. *International Journal of Social Sciences*, 1(2), 83-98.
- Al-Naimat, A. M., Abdullah, M. S., & Ahmad, M. K. (2013). The critical success factors for e-government implementation in Jordan. *ICOCI 2013*, 391-398.
- Altameem, T., Zairi, M., & Alshawh, S. (2006). Critical success factors of e-government: A proposed model for e-government implementation. *Proceedings of the IEEE Innovations in Information Technology Conference (IIT 2006)*, 19-21 November, Dubai, UAE.
- Aramouni, G., & Pando, D. (2006). Midiendo el Gobierno Electrónico. Análisis de páginas web municipales en Argentina. Cátedra Alianza Sumaq en e-Government, Universidad de San Andrés, Buenos Aires.

- Bayona, S., & Morales, V. (2015). Models of Development of e-Government for Municipalities. *28th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering*, CAINE 2015.
- Bojórquez, J., López, L., Hernández, M., & Jiménez, E. (2013). Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab. In *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* (pp. 1–9). México.
- Bryman, A. (2004). Social research methods. *Oxford University Press*.
- Debrí, F., & Bannister, F. (2015). e-Government Stage Models: A Contextual Critique. In *48th Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.266>
- El-haddadeh, R., AL-Shafi, S., Weerakkody, V., & Ali, M. (2010). E-Government implementation Challenges: A Case study. *Proceedings of the Sixteenth Americas Conference on Information Systems*.
- Elkadi, H. (2013). Success and failure factors for e-government projects: A case from Egypt. *Egypt. Informatics J.*, vol. 14, no. 2, pp. 165–173.
- Esteves, J. (2005). Análisis del desarrollo del gobierno electrónico municipal en España. Working Paper. IE Business School
- Franke, R., Kroenung, J., Born, F., & Eckhardt, A. (2015). Influential Factors for E-Government Success in the Middle East: Case Study Evidence from Saudi Arabia. *International Journal of Electronic Government Research (IJEGR)*, vol. 11, no. 1, pp. 39–62.
- Gil-Garcia, J., & Pardo, T. (2005). E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations. *Gov. Inform. Quart.*, 22 (2), 187–216.
- Gómez, P. (2007). El gobierno electrónico en el municipio venezolano. *Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento* 2: 67–80.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edic). México: Mc Graw Hill.
- Khodaveysi, S. (2016). An overview of Critical success factors. Vol. 3, no. 2, pp. 22–28.
- Layne, K. & Lee, J. (2001), “Developing fully functional E-government: A four stage model”, *Government Information Quarterly*, vol. 18, no. 2, pp. 122–136.
- Manoharan, A., Mossey, S., Zhao, H., & Viswanath, S. (2019). Municipal E-Governance in Asia. *Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance*, (June), 0–11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31816-5_3681-1
- Morales, V., & Bayona, S. (2019). Factores Críticos de Éxito en el Desarrollo de E-Gobierno: Revisión Sistemática de la Literatura. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. In press.

- Müller, S.D., & Skau, S.A. (2015). Success factors influencing implementation of e-government at different stages of maturity: a literature review. *Int. J. Electronic Governance*, Vol. 7, No. 2, pp.136–170.
- Ndou, V. (2004). E-government for developing countries: Opportunities and challenges. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, 18(1), 1–24.
- Panopoulou, E. Tambouris, E. and Tarabanis, K. (2014). Success factors in designing eParticipation initiatives. *Inf. Organ.*, vol. 24, no. 4, pp. 195–213.
- Pérez, C. (2004). Técnicas de análisis multivariante de datos: Aplicaciones con SPSS. *Pearson-Prentice Hall*. 646p.
- PND (2017). Plan Nacional de Desarrollo. Toda una Vida. 2017-2021. Aprobado el 22-Sep-2017. Ecuador
- PNGE (2018). Plan Nacional de Gobierno Electrónico 2018-2021. Ecuador
- Pudjianto, B. W., & Hangjung, Z. (2010). Factors Affecting E-Government Assimilation in Developing Countries. *Ssrn*, 1–14. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1553651>
- Puron-Cid, G. (2014). Factors for a successful adoption of budgetary transparency innovations: A questionnaire report of an open government initiative in Mexico. *Government Information Quarterly*, 31, S49–S62. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2014.01.007>
- Rahman, S., Rashid, N., Yadlapalli, A., and Yiqun, L. (2014). Determining factors of e-government implementation: A multi-criteria decision-making approach. *PACIS 2014 Proceedings*, 302, <http://aisel.aisnet.org/pacis2014/302>
- Rodrigues, S. (2018). Local e-government models: A comparative and critical overview. The Małopolska School of Economics in Tarnów Research Papers Collection. <https://doi.org/10.25944/znmwse.2018.04.95114>
- Smith, S. & Jamieson, R. (2006). Determining Key Factors in E-Government Information System Security. *Information Systems Management* 23(2):23-32
- Streiner, D.L. (2003). Starting at the beginning: An introduction to coefficient alpha and internal consistency. *Journal of Personality Assessment*, 80, 99-103.
- Survey Google Form. (2019). Retrieved May 1, 2019, from <https://forms.gle/W28uY5sXSM3NZiXt9>
- United Nations (2018). E-government survey 2018. Retrieved from: [https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government Survey 2018_FINAL for web.pdf](https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government%20Survey%202018_FINAL%20for%20web.pdf)

Uso de PBL no ensino de IoT: Um Relato de Experiência

Bruno da Silva Rodrigues¹, Valéria Farinazzo Martins^{1,2}

bruno.rodrigues@mackenzie.br, valeria.farinazzo@mackenzie.br

¹ Faculdade de Computação e Informática - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930, CEP 01302-000, São Paulo – SP, Brasil.

² Universidade Federal de São Paulo – Núcleo UAB/ Programa de Mestrado do Centro Universitário Campo Limpo Paulista, São Paulo, SP, Brazil.

³ Programa de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930, CEP 01302-000, São Paulo – SP, Brasil.

Pages: 42–55

Resumo: Os currículos na área de Computação sofrem, frequentemente, alterações a fim de se adaptarem às novas demandas em termos tecnológicos. Uma destas atualizações refere-se ao ensino de Internet das Coisas (programação e eletrônica). Devido ao seu caráter projetual, ensinar esta disciplina sob uma ótica tradicional (provas e listas de exercícios teóricos) pode não ser a melhor maneira. Este trabalho apresenta o relato de experiência do uso da metodologia PBL no processo de ensino-aprendizagem de uma disciplina que versa sobre IoT em um curso de Sistemas de Informação de uma universidade brasileira. Todos os passos e adaptação da metodologia foram descritos, a fim de que ela possa ser replicada.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Problem-based learning; Processo de ensino-aprendizagem; Project-based learning.

Using PBL to teach IoT: An Experience Report

Abstract: Computer curricula are often changed to adapt to new technological demands. One of these updates concerns the teaching of IoT (programming and electronic components). Due to its design features, teaching this subject from a traditional perspective (tests and theoretical exercises lists) may not be the best way. This paper presents the experience report of the use of the PBL methodology in the teaching-learning process of a course that deals with IoT in an Information Systems undergraduate course in a Brazilian university. All steps and adaptation of the methodology have been described so that it can be replicated.

Keywords: Internet of Things; Problem-based learning; teaching-learning process; Project-based learning.

1. Introdução

No início da década de 90, Weiser (1991) previa que os avanços nas telecomunicações e na computação móvel aumentaria a diversidade de serviços de computação, permitindo o acesso a esses serviços o tempo todo e independentemente da localização do usuário final. Esse novo paradigma apresentado por Weiser ficou conhecido como computação ubíqua ou computação pervasiva e tem como principal característica a capacidade de dispositivos móveis se misturarem e se adaptarem às atividades do indivíduo de maneira tão natural que se tornam imperceptíveis.

A computação ubíqua descrita por Weiser se dá por meio de objetos inteligentes conectados à internet e ficou conhecida como Internet das coisas (Internet of Things - IoT), termo cunhado por Kevin Ashton quando apresentava um projeto sobre o uso de RFID aplicado no controle da cadeia de suprimentos de uma empresa (Ashton, 2009). Levando em consideração que dispositivos IoT são um dos pilares da quarta revolução industrial (Xu, 2018) e possuem um importante papel na transformação digital de empresas (Zimmermann, 2015), desenvolver estratégias para o ensino de IoT, assim como o estudo de metodologias que desenvolvam habilidades e estimulem o interesse dos estudantes na criação de soluções disruptivas usando IoT é uma tarefa desafiadora e de extrema relevância.

Program-Based Learning (PBL) é uma metodologia educacional que utiliza os conteúdos a serem aprendidos para iniciar, motivar e focar a aquisição de conhecimento, além de estimular o desenvolvimento de habilidades e atitudes profissionais (Figuerola et al., 2018).

Embora PBL já esteja fortemente alicerçado na área da Saúde, ainda existem desafios a serem suplantados em outras áreas do conhecimento, tais como em Ciência da Computação e Engenharia (Kumar; Radcliffe, 2017).

Por se tratar de uma prática ativa de ensino, PBL foi utilizado no processo de ensino-aprendizado da disciplina de Objetos Inteligentes Conectados a fim de aumentar a motivação dos estudantes no desenvolvimento de soluções de IoT. Neste contexto, os estudantes desenvolveram seis projetos intermediários e um projeto final, além da preparação de um artigo científico sobre o projeto final. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de apresentar todos os passos e adaptações de PBL para o ensino de IoT.

O artigo está estruturado como segue. Na seção 2 são apresentados os temas relacionados à IoT e PBL, além dos trabalhos relacionados, a fim de fornecer embasamento teórico para o restante do artigo. A seção 3 apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa. Na seção 4 está a metodologia de avaliação e os resultados alcançados. Finalmente, a seção 5 traz as conclusões deste trabalho.

2. Fundamentação Teórica

2.1. IoT

Internet das Coisas é o termo que descreve sistemas inteligentes conectados à internet capazes de detectar o ambiente através de sensores integrados e reagir a eventos sem a

necessidade de qualquer intervenção humana. Esses objetos interconectados entre si permitem o surgimento de soluções inteligentes e serviços em diversos segmentos como transporte, fornecimento de energia, segurança, atendimento médico domiciliar, entre outras (Zimmermann, 2015).

No conceito de IoT, além de dispositivos tradicionais como celulares, *tablets* e televisores, coisas (roupas, embalagem de alimentos, brinquedos e objetos para pets) que até então não faziam uso de componentes eletrônicos passam a integrar os sistemas permitindo que qualquer objeto esteja conectado a qualquer hora, em qualquer lugar, com outras coisas ou pessoas (Patel; Patel, 2016).

Atualmente um sistema de IoT podem envolver desde sensores responsáveis pela detecção do ambiente físico até grandes sistemas computacionais e computação em nuvem responsáveis pelo processamento massivo de dados e uso de ferramentas de análise e computação cognitiva e *blockchain*.

2.2. PBL

PBL é uma metodologia instrucional usada pelo estudante para aprender através da técnica de solução de problemas (Hung et al, 2008). Dewey (1910) concebeu essa metodologia baseado na ideia de “aprender fazendo”, para que os estudantes usassem sua capacidade de pensar, de maneira gradual, durante a aquisição de conhecimento baseados em problemas da vida real, na área de Medicina. A Figura 1 apresenta as etapas que fazem parte da metodologia PBL.

Essa metodologia possui as seguintes características (Hung et al, 2008), (Savery, 2015):

- É orientado a problemas. A resolução de problemas permite aprender novos contextos e habilidades. A construção do conhecimento é fornecida pela solução de problemas e aplicada de volta à solução de problemas. Não existe uma lista hierárquica de tópicos, como em uma metodologia convencional de aprendizado;
- Os estudantes determinam seu ritmo de aprendizado;
- É auto-reflexivo. Portanto, os estudantes gerenciam sua compreensão e são capazes de ajustar suas estratégias de aprendizagem;
- Os tutores são apenas facilitadores e não disseminadores de conhecimento.
- O conhecimento está relacionado a contextos relevantes. Para que as informações se tornem conhecimentos, é necessário ativar os conceitos e estruturas cognitivas existentes sobre o assunto e permitir que os estudantes elaborem e atribuam novos significados.



Figura 1 – Etapas do PBL (Adaptado de Ribeiro, 2008)

De acordo com Ribeiro (2008), as etapas de I a X apresentadas na Figura 1 consistem em:

- Etapa I (Introdução e Definição de Problemas): o ciclo tem início com a apresentação de um problema, que é analisado e definido pelos estudantes em grupos.
- Etapa II (Formulação de hipóteses): os estudantes discutem o problema e desenvolvem uma hipótese sobre sua causa.
- Etapa III (Tentativa de solução com o conhecimento disponível): os grupos avaliam a hipótese criada, confrontando-a com os dados encontrados no problema, e tentam resolvê-lo com seus conhecimentos prévios. Nesse ponto, pode-se perceber que é possível encontrar conceitos errados sobre assuntos já estudados.
- Etapa IV (Formulação de pontos de aprendizagem): os grupos identificam os pontos de aprendizagem (conceitos, teorias, etc.) necessários para a solução do problema, o que não foi possível alcançar apenas com os conceitos existentes.
- Etapa V (Planejamento do trabalho em grupo): os grupos planejam as atividades a serem executadas. Eles definem os pontos a serem priorizados, qual membro abordará cada ponto, as fontes a serem estudadas e como os resultados serão compartilhados.
- Etapa VI (Estudo Independente): os integrantes do grupo realizam as atividades planejadas no período anterior de forma autônoma.
- Etapa VII (Compartilhamento de informações no grupo): os membros de cada grupo compartilham os resultados obtidos.
- Etapa VIII (Aplicação do conhecimento no problema): o conhecimento adquirido é transformado em prática para resolver o problema.
- Etapa IX (Apresentação das soluções do grupo): entrega da solução em forma de relatório, projeto, vídeo, etc., que é apresentado ao professor (tutor) e a outras partes interessadas.
- Etapa X (Autoavaliação, Avaliação do processo e em pares): avaliações realizadas no processo, no artefato, no trabalho em grupo, no desempenho de cada um e no restante do grupo.

2.3. Trabalhos Relacionados

A metodologia PBL tem sido amplamente utilizada desde a década 50 em Medicina para treinar estudantes que não estavam satisfeitos com as formas tradicionais e ineficientes de memorizar informações (Hung et al, 2008). Desde a década de 1990, PBL foi adaptada para muitos contextos educacionais e para o ensino de diversas áreas do conhecimento. Por exemplo, na área de Computação e Engenharia Elétrica, Martins, Concilio e Guimarães (2018) aplicaram PBL em conjunto com o desenvolvimento de jogos para o ensino de programação para estudantes de 1º semestre do curso de Ciência da Computação.

Martins et al. (2018) apresentam os resultados de um esforço para completar o conhecimento adquirido pelos estudantes em aulas presenciais, com habilidades técnicas necessárias em situações da vida real. A contribuição é o resultado de um trabalho

aplicado em um curso de graduação em Design de Infraestrutura de Rede de Dados em uma universidade brasileira usando PBL, como uma ferramenta motivacional.

Já Martins et al. (2019) usaram PBL para o desenvolvimento de Jogos Sérios Acessíveis no contexto de uma disciplina de Interação Humano-Computador, em cursos de Ciência da Computação e Sistemas de Informação. Eles mapearam o conteúdo da disciplina em artefatos entregáveis em três momentos da disciplina.

Figuerola et al. (2018) apresentam o uso de PBL para entender e analisar em profundidade a tecnologia RFID do ponto de vista da segurança cibernética. dentro de um laboratório de IoT e Cibersegurança.

Rout, Mishra e Routray (2017) utilizam PBL para o ensino de IoT em cursos de Graduação em Engenharia, através da implantação de um laboratório, utilizando recursos limitados. Eles trazem resultados positivos em relação à experiência de aprendizado dos estudantes no uso desta abordagem.

Percebe-se, assim, que há um movimento de pesquisadores e professores para a utilização de práticas ativas, entre elas PBL, no intuito de melhorar o processo de ensino-aprendizagem nestas áreas do conhecimento.

Esta pesquisa se diferencia dos trabalhos aqui relacionados pela quantidade de projetos durante o semestre que foram utilizados, em que, cada um, utilizou a metodologia PBL e, por fim, também no projeto final, ainda utilizando tal metodologia e a geração de um artigo científico. Para tanto, os estudantes também tiveram que lançar mão de conceitos aprendidos em disciplinas anteriores sobre metodologia científica.

3. Metodologia do Trabalho

3.1. A disciplina de Objetos Inteligentes Conectados

A disciplina de Objetos Inteligentes Conectados aborda os conceitos e aplicações de objetos heterogêneos em redes *ad-hoc* para desenvolvimento de micro serviços e integração com sistemas de Internet das Coisas (IoT) abrangendo os conteúdos de: introdução à internet das coisas - tendência e influências; sistemas embarcados; sensores; atuadores; meios de comunicação; e protocolos de comunicação.

O estudo ocorreu no 1º semestre de 2019, em uma universidade particular localizada na cidade de São Paulo, Brasil, no curso de Sistemas de Informação. A disciplina de Objetos Inteligentes Conectados possui carga horaria de 40 horas composta por aulas práticas com duração de duas horas semanais.

O objetivo da disciplina é familiarizar o estudante com programação de sistemas embarcados, habilitando-o a projetar e desenvolver soluções IoT. Para isso, o curso fornece aos estudantes condições de avaliar problemas cotidianos e implementar hardware necessário para o desenvolvimento de dispositivos capazes de integrar o ambiente à internet.

Os critérios de avaliação deste curso são constituídos por um processo de avaliação continuada dos projetos e revisão do artigo científico. No primeiro bimestre da disciplina

os projetos (parciais) são responsáveis por 70% da nota e os 30% são atribuídos a uma versão preliminar do artigo. Já no segundo bimestre da disciplina, o projeto final é responsável pela fração mais alta da nota (70%) e os outros 30% são compostos pelo artigo final e pelas atividades desenvolvidas em aula (projetos parciais). As atividades em aula eram desenvolvidas usando a placa de prototipagem Arduino assim como o simulador de Arduino Thinkercad¹.

3.2. PBL aplicado ao ensino de IoT

Cada aula da disciplina Objetos Inteligentes Conectados é composta pela explicação teórica do conteúdo programático ministrada pelo professor da disciplina, seguida de um projeto (artefato entregável) que deveria ser desenvolvido em grupos com dois integrantes. Para cada um destes projetos, foi utilizada a metodologia PBL, numa versão simplificada. Na Figura 2 são apresentados os passos seguidos para a implementação de PBL. Foram realizadas adaptações ao modelo proposto por Ribeiro (2008), a fim de tornar o processo mais ágil, devido ao tempo para a aplicação de cada projeto.

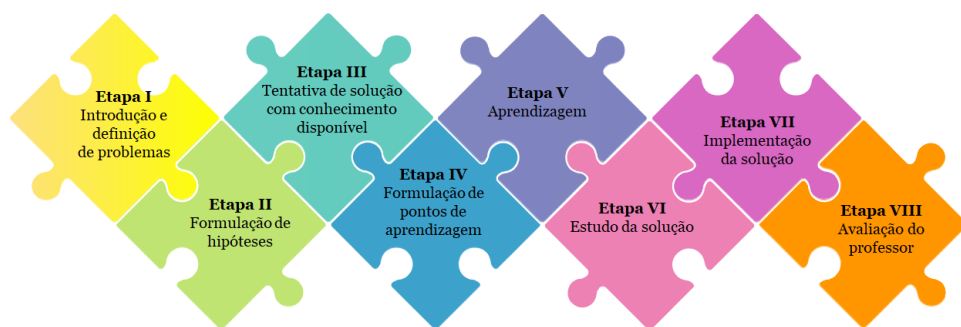


Figura 2 – PBL simplificado (fonte: autores)

Nesta versão simplificada de PBL, tem-se as etapas de I a VIII conforme descrito a seguir:

- Etapa I (Introdução e definição de problemas): apresentação de um projeto em cada aula, com assunto incrementais.
- Etapa II (Formulação de hipóteses): Quais os componentes que deveriam ser utilizados para a solução deste problema.
- Etapa III (Tentativa de solução com o conhecimento disponível): os grupos avaliam a hipótese criada, utilizando conhecimento prévio sobre os componentes já utilizados nos projetos anteriores do semestre.
- Etapa IV (Formulação de pontos de aprendizagem): os grupos identificam os pontos de aprendizagem: um ou mais componentes de IoT ainda não estudados.
- Etapa V (Aprendizagem): nesta etapa (modificada) o tutor tem papel fundamental, explicando o conceito do componente de IoT que ainda não foi aprendido.

¹ <https://www.tinkercad.com/>

- Etapa VI (Estudo da solução): com base no que foi aprendido e nos conceitos anteriores, os grupos projetam sua solução.
- Etapa VII (Implementação da solução): os grupos desenvolvem a solução para o problema através da entrega do projeto e de um relatório. Para a implementação do projeto, os estudantes precisam construir o projeto físico (eletrônica) e realizar a programação dos dispositivos (parte lógica).
- Etapa VIII (Avaliação do professor): o professor avalia cada projeto e um *feedback* é gerado.

Ao longo da disciplina foram aplicados seis projetos desenvolvidos por meio da metodologia PBL simplificada onde, a solução do problema era iniciada em sala de aula sob orientação do professor e concluída ao longo da semana pelos alunos como tarefa extra-classe. Como apontado na figura 3, os projetos eram incrementais em relação aos anteriores e serviriam de base para o projeto final onde o grupo era livre para escolher o enfoque do projeto.



Figura 3 – Atividades parciais desenvolvidas durante o semestre pelos estudantes (fonte: autores)

3.2.1. Exemplo do uso de PBL em um projeto parcial

Neste projeto Parcial, os estudantes tinham uma semana para construir a solução IoT aplicado a segurança residencial. Até o início deste projeto, os estudantes haviam desenvolvido projeto usando os seguintes componentes IoT: placa de prototipagem Arduino, sensores analógicos, sensores digitais e implementado comunicação através de porta serial. Em relação a aspectos de programação, os estudantes conheciam estruturas de controle de fluxo e repetição, instruções de entrada e saída analógicas e digitais. Neste projeto parcial, as etapas de PBL foram:

- Etapa I (Introdução e definição de problemas): apresentação do projeto de acordo com o exposto na Figura 4. Neste projeto era necessário conhecimento em: interrupções externas usando Arduino e contextos onde o uso de interrupções deve ser aplicado.

- Etapa II (Formulação de hipóteses): Para resolver este tema, os estudantes precisavam descobrir que teriam que utilizar os conceitos de sensores digitais (sensores de movimento infravermelho), sensores analógicos (sensor de luminosidade LDR - Light Dependent Resistor), controle de saídas digitais para acionamento de lâmpadas e de dispositivo piezoelétrico (*Buzzer*).
- Etapa III (Tentativa de solução com o conhecimento disponível): os estudantes deveriam concluir que, apesar do conhecimento prévio, somente a implementação dos sensores digitais e analógicos não seriam suficientes para a conclusão do projeto.
- Etapa IV (Formulação de pontos de aprendizagem): os grupos deveriam identificar um componente de IoT ainda não estudado: o uso de interrupções externas associadas ao uso de sensores para tratamento de eventos com prioridades no projeto proposto.
- Etapa V (Aprendizagem): o professor apresenta os conceitos de interrupções interna e externas.
- Etapa VI (Estudo da solução): os estudantes consideram como integrar o uso de interrupções ao projeto de segurança residencial.
- Etapa VII (Implementação da solução): todos os componentes necessários são integrados de maneira a obter a solução o problema proposto na Figura 4.
- Etapa VIII (Avaliação do professor): avaliação do professor em relação ao projeto de cada grupo. Foram levados em consideração: a evolução do projeto, os quatro requisitos apresentados na Figura 4, sendo que cada requisito implementado tinha um peso na nota.

Na Figura 4 é apresentado um diagrama do problema que os estudantes deveriam resolver contextualizando os componentes propostos na solução no contexto de segurança residencial.



Figura 4 – Apresentação do problema a ser resolvido (fonte: autores)

Com base no esquema apresentado na Figura 4, os alunos deveriam criar uma solução em que um controle de perímetro residencial era implementado através de sensores de presença que controlariam a movimentação de pessoas no entorno da residência e acionaria uma sirene (através do uso de interrupções) no caso de uma eventual invasão da residência. Além do controle de perímetro, um sensor de luminosidade acionaria a iluminação de alguns pontos da residência de maneira automática.

3.3. O Projeto Final

O projeto final consistia no desenvolvimento de uma solução IoT para um problema cotidiano e foi desenvolvido pelas duplas ao longo de 4 semanas onde as aulas eram usadas para orientação dos projetos. Os estudantes tiveram liberdade para desenvolver suas soluções usando Arduino ou módulo similar (ex. ESP8266 NodeMCU), integrando sensores à internet. Esses sistemas deveriam apresentar ao usuário as informações aferidas pelos sensores. O projeto final deveria conter as seguintes camadas: camada de aplicação, camada de rede e camada física, conforme é apresentada na Figura 5.

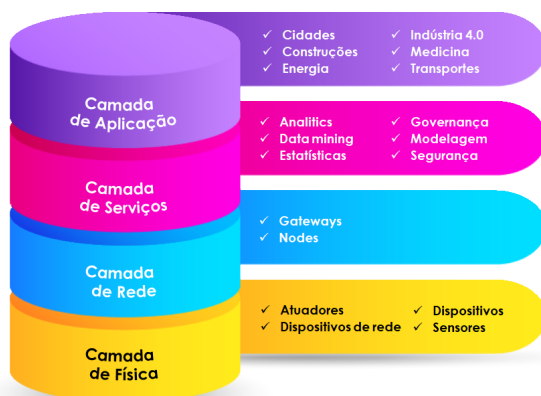


Figura 5 – Apresentação do problema a ser resolvido (adaptado de Patel e Patel, 2016)

Na camada física (Figura 5), os estudantes trabalharam no desenvolvimento da eletrônica embarcada composta por:

- Sensores: responsáveis por transformar grandezas físicas, em variáveis mensuráveis permitindo a análise de uma determinada condição do ambiente.
- Microcontrolador: a aquisição de dados é realizada por sistema embarcado conectado a uma rede de comunicação para envio das informações aferidas pelos sensores.
- Dispositivos de rede responsável pela transferência dos dados ao longo de um canal de comunicação. Para interconectar os dispositivos podem ser utilizadas tecnologias como: Wi-fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), Ethernet (IEEE 802.15.4) entre outras.
- Atuadores: destinado a executar alguma ação ou produzir movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos.

A camada de rede do modelo apresentado na Figura 5 é responsável por promover a conectividade entre os dispositivos IoT ou dispositivos IoT e de computação.

Na camada de serviços é realizado o gerenciamento e suporte às aplicações IoT. Dentre os serviços pode-se citar: sistemas inteligentes de tomada de decisão, análise preditiva de dados, processamento de eventos complexos e análise comportamental, integração com computação em nuvem e segurança. A camada de serviços não foi abordada na disciplina de objetos inteligentes conectados.

Finalizando o modelo de camadas da arquitetura IoT, existe a camada de aplicação que abrange os “ambientes inteligentes” com aplicações em diversos segmentos como transporte, agricultura, cadeia de suprimentos, saúde, meio ambiente e energia, dentre outros.

A documentação do projeto deveria ser entregue no formato de artigo seguindo as normas da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Na introdução do artigo os estudantes descreveram suas aplicações além de justificar a escolha baseando-se em referências bibliográficas que ratificaram a importância do tema escolhido.

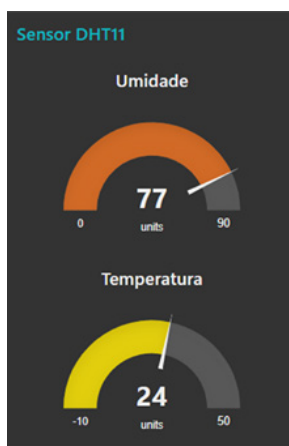
Na metodologia do trabalho, os estudantes apresentavam uma descrição detalhada de como seria a solução IoT indicando desde sensores e hardware até protocolos de comunicação e plataformas utilizadas. Na Figura 6 é apresentado o esquema de interconexão dos componentes de um sistema de alerta de incêndios, construído por um dos grupos de estudantes.



Figura 6 – Exemplo de sistema desenvolvido para alerta de incêndios apresentado no projeto final da disciplina (fonte: autores)

No item desenvolvimento/resultados, os alunos deveriam apresentar os testes realizados com o sistema, assim como apresentar as interfaces desenvolvidas para interagir com os

usuários do sistema. Na Figura 7 é mostrada uma interface com o usuário desenvolvida para um sistema de monitoramento de condições ambientais para armazenamento de medicamento. Neste trabalho os alunos constataram através de uma revisão bibliográfica que fatores como temperatura e umidade podem comprometer a eficácia dos medicamentos e decidiram criar um sistema IoT onde *dashboards* apresentavam em tempo real a temperatura e umidade do local onde os medicamentos estavam armazenados (Figura 7 (a)) e, eventualmente, quando a temperatura ou da umidade atingisse um valor crítico (valor que pode ser configurado em função das especificações dos medicamentos); uma mensagem seria enviada via e-mail pelo sistema IoT avisando o usuário sobre a condição crítica (Figura 7(b)).



(a)

	juvenaspigas@gmail.com	20:53 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 76.00		
	juvenaspigas@gmail.com	20:53 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 78.00		
	juvenaspigas@gmail.com	20:53 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 76.00		
	juvenaspigas@gmail.com	21:13 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 78.00		
	juvenaspigas@gmail.com	21:13 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 78.00		
	juvenaspigas@gmail.com	21:14 (há 2 horas)	☆
	Temperatura: 24.00Umidade 77.00		

(b)

Figura 7 – *Dashboard* de controle de temperatura e umidade(a) e notificações por e-mail de condições críticas (b) de um sistema IoT desenvolvido pelos estudantes para controle de armazenamento de medicamentos (fonte: autores).

Por fim na conclusão do artigo os estudantes descreveram os pontos positivos dos sistemas desenvolvidos assim como as limitações e dificuldades e trabalhos futuros.

4. Metodologia de Avaliação e Resultados

Cada projeto parcial foi avaliado em relação a quão completa e correta estava a implementação, mas com um caráter mais didático do que propriamente avaliativo. Assim, a intenção é que os estudantes entregassem todas as atividades e, com *feedbacks* do professor, pudessem complementar o entendimento do assunto.

Já o projeto final foi avaliado segundo os seguintes critérios:

- Notas individuais (0 a 10): Avaliação da clareza das respostas de cada estudante, de acordo com os detalhes do projeto e suas características. O estudante deve

conhecer o funcionamento das partes (software e hardware). Deve conseguir responder às questões de funcionamento e uso das bibliotecas e código desenvolvido.

- Complexidade do projeto (0 a 10):
 - Baixa complexidade – nota de 0 a 5 – correspondem ao uso de 1 a 2 sensores sem *dashboard* e sem conexão.
 - Média complexidade – nota de 5 a 8 – correspondem ao uso de 2 ou mais sensores conectados a gateway *dashboard* simples.
 - Grande complexidade - nota de 8 a 10 – correspondem ao uso de 2 sensores (ou atuadores) ou + Conectado a *cloud*, *mqtt* e *dashboard*.
- Originalidade (0 a 10): Projeto inovador ou abordagem diferente:
 - Réplica de projeto facilmente encontrável na Internet: nota 0 a 5.
 - Ideia desenvolvida combinando diversas fontes: nota de 5 a 8.
 - Projeto com conteúdo inovador: nota de 8 a 10.
- Apresentação e funcionamento (0 a 10): São avaliadas a clareza e a segurança e dos estudantes na apresentação e a sequência lógica e a qualidade do conteúdo apresentado.
 - Protótipo sem conexão com internet – nota de 0 a 3.
 - Protótipo parcialmente funcional (inclui aplicativos e outros softwares auxiliares) – nota de 3 a 7.
 - Protótipo completamente funcional (inclui aplicativos e outros softwares auxiliares) - nota de 7 a 10.
- Artigo científico (0 a 10):
 - Entregas incompletas, descrição vaga do projeto. Código-fonte inexistente ou incompleto – nota de 0 a 3 (máximo).
 - Descrição de hardware, interfaces e softwares com alguns problemas – nota de 3 a 8.
 - Formatação, descrição de hardware, interfaces e softwares completa – nota de 8 a 10.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou o uso da metodologia PBL no processo de ensino-aprendizagem de uma disciplina sobre IoT em um curso de Sistemas de Informação de uma universidade brasileira. Todos os passos e adaptação da metodologia foram descritos a fim de que a disciplina possa ser replicada.

Entrevistas informais com os professores da disciplina mostram que este tipo de metodologia, ao contrário de metodologias tradicionais compostas por provas teóricas, se mostrou mais eficiente no aprendizado, gerando notas mais altas dos estudantes, além de motivá-los mais. Assim, trabalhar a disciplina numa abordagem mais prática, através de atividades parciais, seguidas de um projeto final aplicado a situações reais cotidianas dos estudantes, permite, a eles, adquirir conhecimento através da vivência de casos concretos de desenvolvimento de IoT. Os estudantes tinham que aprender programação embarcada e conceitos de eletrônica e sensores para executarem cada projeto (parcial ou final).

A disciplina também resgatou conceitos aprendidos em Metodologia do Trabalho Científico, ao solicitar que, além do projeto final, os estudantes entregassem um artigo científico. Ou seja, além da construção da parte prática, eles teriam que ser capazes de se expressar, através da escrita mais formal, relatando as fases do desenvolvimento do projeto.

Como trabalhos futuros será avaliada a efetividade da proposta através de um questionário que medirá o perfil e a satisfação dos estudantes com relação à metodologia PBL em detrimento de metodologias tradicionais. Em razão da qualidade dos trabalhos e dos artigos, alguns estudantes estão adaptando seus artigos para publicação em congressos.

Referências

- Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Figueroa, S., Carías, J. F., Añorga, J., Arrizabalaga, S., & Hernantes, J. (2018, June). A RFID-based IoT Cybersecurity Lab in Telecommunications Engineering. In *2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEe)* (pp. 1-8). IEEE.
- Hung, W., Jonassen, D. H., & Liu, R. (2008). Problem-Based Learning. *Handbook of research on educational communications and technology*.
- Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5).
- Kumar, D., & Radcliffe, P. (2017, July). Problem Based Learning for engineering. In *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 25-29). IEEE.
- Martins, V. F., de Almeida Souza Concilio, I., & de Paiva Guimarães, M. (2018). Problem based learning associated to the development of games for programming teaching. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1577-1589.
- Martins, V. F., de la Higuera Amato, C. A., Silveira, I. F., & Eliseo, M. A. (2019) Problem-Based Learning aplicado ao desenvolvimento de jogos sérios acessíveis Problem-Based Learning applied to the development of accessible serious games. In: 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 2019, Coimbra. *Proceedings of 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*.
- Martins, V. F., Sampaio, P. N. M., Cordeiro, A. J. A., & Viana, B. F. (2018). Implementing a Data Network Infrastructure Course using a Problem-based Learning Methodology. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, 3(2), 10.
- Ribeiro, L. R. C. (2008). Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, 27(2), 23-32.

- Rout, K. K., Mishra, S., & Routray, A. (2017, December). Development of an Internet of Things (IoT) Based Introductory Laboratory for Undergraduate Engineering Students. In *2017 International Conference on Information Technology (ICIT)* (pp. 113-118). IEEE.
- Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Essential readings in problem-based learning: Exploring and extending the legacy of Howard S. Barrows*, 9, 5-15.
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21 st Century. *Scientific american*, 265(3), 94-105.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- Zimmermann A., S. R. (2015). Digital Enterprise Architecture - Transformation for the Internet of Things. *Proceedings of the 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop*, 130-138.

Propuesta metodológica para generar mapas de cobertura de la tierra a partir de imágenes de radar ALOS/PALSAR: Estudio de caso Mompós, Colombia

Brian Valencia¹, Erika Upegui²

bsvalenciam@correo.udistrital.edu.co, esupeguic@udistrital.edu.co

¹ Ingeniero Catastral y Geodesta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., 110731, Bosa, Colombia.

² Ingeniera Catastral y Geodesta, Grupo GEFEM, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Carrera 7 No. 40B – 53, 110231, Bogotá D.C., Colombia.

Pages: 56–68

Resumen: Las capacidades de los sistemas satelitales con sensores activos, como los son los radares de apertura sintética (SAR), de adquirir información de la superficie terrestre en casi cualquier condición climatológica, permiten obtener información de las coberturas de la tierra aún bajo estas limitaciones. En este trabajo se identificaron las coberturas presentes en el municipio de Santa Cruz de Mompós ubicado en el departamento de Bolívar, Colombia, generando un mapa temático de coberturas de la tierra usando dos imágenes SAR dual-pol con nivel de procesamiento SLC del sensor PALSAR del satélite ALOS, para una temporalidad que se caracterizó por la elevada presencia de nubosidad debido al acontecimiento del fenómeno de la niña y a la ola invernal del año 2010. El mapa se obtuvo mediante la técnica de clasificación supervisada orientada a objetos con base en la información derivada de la descomposición polarimétrica incoherente H/A/Alpha alcanzando un coeficiente kappa de 0,83.

Palabras-clave: ALOS/PALSAR; polarimetría SAR; descomposición polarimétrica, coberturas de la tierra; análisis de imágenes basado en objetos.

Methodological proposal to generate land cover maps using ALOS/PALSAR radar imagery: Case study from Mompos, Colombia.

Abstract: The capabilities of satellite systems with active sensors, such as synthetic aperture radar (SAR), to acquire information from the earth's surface in almost any weather condition, allow obtaining information of land cover even under these limitations. In this paper, the coverages present in Santa Cruz de Mompós municipality located in Bolívar department, Colombia were identified, generating a thematic land cover map using two dual-pol SAR images with SLC processing level of PALSAR sensor of ALOS satellite, for a temporality whose was characterized by a high presence of cloudiness due to the occurrence of La Niña phenomenon and the 2010 seasonal rains. This map was obtained through the object-oriented

supervised classification technique based on derived information from the H/A/Alpha incoherent polarimetric decomposition and reached a kappa coefficient of 0,83.

Keywords: ALOS/PALSAR; SAR polarimetry; polarimetric decomposition; land cover; Object-based image analysis.

1. Introdução

Hoy en día las imágenes satelitales obtenidas a través de sistemas con sensores activos como lo son los radares de apertura sintética (SAR) están siendo ampliamente utilizadas en la elaboración de mapas de uso y cobertura de la tierra debido a la capacidad de penetración que tienen a través de las nubes y las condiciones atmosféricas neblinosas tales como la niebla, el smog, las lluvias ligeras, la neblina, etc. (Rahman & Thakur, 2017), además son capaces de obtener información en ausencia de luz solar (Kran & Anjaneyulu, 2016), lo cual presenta grandes ventajas con respecto a las imágenes obtenidas por sistemas con sensores pasivos que no tienen estas capacidades debido a la resolución radiométrica que manejan. Por otro lado los SAR se caracterizan por cubrir grandes áreas y de adquirir información para todo tipo de clima, además pueden obtener información masiva en cortos períodos de tiempo ya que las nuevas misiones satelitales suministran una gran cantidad de imágenes de radar adquiridas diariamente, caracterizadas por una alta resolución espacial (D'Addabbo, Refice, Pasquariello & Lovergine, 2016).

A partir de las imágenes SAR puede derivarse información útil para emplearla con la finalidad de identificar y mapear las coberturas de la tierra mediante diversas técnicas, una de ellas es la polarimetría, la cual ha sido ampliamente utilizada para la derivación de información física, cualitativa y cuantitativa para aplicaciones terrestres, oceánicas, urbanas, etc. basada en la medición y exploración de las propiedades polarimétricas de dispersores artificiales y naturales (Moreira, Prats-Iraola, Younis, Krieger, Hajnsek, & Papathanassiou, 2013). Para obtener dicha información se emplean las denominadas descomposiciones polarimétricas las cuales permiten obtener discriminadores polarimétricos que puedan ser usados para el análisis, interpretación y clasificación de la información tomada por el sistema SAR y que permita la extracción de información de los procesos de dispersión (Domènech, 2015).

Actualmente se han desarrollado y utilizado diferentes descomposiciones polarimétricas como lo es el caso de Lönnqvist, Rauste, Molinier, & Häme, (2010), en cuyo estudio se contrastan los resultados obtenidos utilizando componentes polarimétricos como la entropía (H), α y la anisotropía (A), y en donde concluyen que al usar estos datos se obtienen mapas con coeficientes kappa aceptables. Así mismo en el trabajo de Kran & Anjaneyulu, (2016) también se utiliza la descomposición polarimétrica incoherente con base en los parámetros H/A/Alpha, sin embargo en este estudio se usa el clasificador de Wishart con el cual también obtienen muy buenos resultados para aplicaciones de clasificación de coberturas de la tierra.

Por otro lado existen estudios donde se utiliza información polarimétrica tanto coherente como incoherente para la clasificación de coberturas en un ámbito semi urbanizado, como lo es el caso de Alberga, (2007), donde utilizan información derivada de los

enfoques de Krogager, Cameron así como H/A/Alpha y hacen uso de los algoritmos de clasificación de mínima distancia y máxima verosimilitud, en este estudio concluyen que la clasificación de coberturas en este ámbito usando información obtenida mediante las técnicas coherentes presenta resultados aceptables y comparables con las clasificaciones que se basan en la información polarimétrica obtenida a través de las técnicas incoherentes.

En el trabajo de Xu, Li, Lei, Tian & Shan, (2012) se propone obtener un espacio de características conformado por información polarimétrica obtenida a partir de descomposiciones tanto coherentes como incoherentes como lo son las de Pauli, H/A/Alpha, Holm, Freeman-Durden y Krogager, para la clasificación de coberturas terrestres con la finalidad de realizar estudios ecológicos sobre el delta del río Amarillo en China, así mismo utilizan información derivada de la técnica denominada como interferometría polarimétrica (PolInSAR) y de algoritmos de textura como lo son la entropía, el contraste, la homogeneidad y la energía. Emplean los algoritmos de clasificación por máquinas de soporte vectorial y el de Wishart, concluyendo que el primero presenta mejores resultados comparativamente usando el mismo espacio de características.

En lo que corresponde al análisis de imágenes orientado a objetos u OBIA (por sus siglas en inglés) es una metodología semiautomática utilizada para la clasificación de coberturas de la tierra, esta técnica implica la categorización de píxeles en función de la relación espacial con los píxeles circundantes, esto se debe a que se forman objetos que no son más que la agrupación de píxeles con atributos similares, ya que se basa en las características pictórico morfológicas como lo son la textura, el tono, el tamaño, la forma y el contexto espacial de dicho conjunto de píxeles (Humboldt State University, 2015), en este enfoque se tiene tres elementos principales los cuales son la segmentación de la imagen que consiste en dividirla en clases homogéneas, es decir que se agrupan los píxeles que comparten atributos similares en cuanto a las características anteriormente mencionadas, el segundo elemento es la extracción de características del objeto cuyo objetivo es capturar las formas, las texturas y las características espectrales en la imagen y el tercer elemento es la clasificación de objetos que consiste en asignar al sistema determinados objetos como muestras de entrenamiento y luego clasificarlos según su espacio de características a través de un modelo de clasificación (Zerrouki & Bouchaffra, 2014). Un ejemplo de esta metodología se presenta en el estudio de Veljanovski, Lamoveca, Pehani & Ostir, (2011) donde se concluye que el análisis basado en objetos ofrece mejor precisión con respecto al uso de técnicas de umbralización debido a que los objetos al combinar diferentes propiedades de atributos conducen a un bajo grado de clasificaciones erróneas. En los trabajos de Evans & Costa, (2012) y Evans, Costa, Telmer & Silva, (2010) también se utiliza este análisis con el fin de elaborar mapas de coberturas de la tierra, allí se discriminan los cuerpos de agua de las demás coberturas de la tierra que comprenden bosques, sabanas, pastizales, zonas de agricultura, etc.

Este trabajo busca usar la técnica de descomposición polarimétrica incoherente denominada como H/A/Alpha con base en las imágenes ALOS/PALSAR dual-pol HH/HV para obtener información sobre las características de la retrodispersión de la señal de radar que se relaciona con los dispersores u objetos en tierra cuya finalidad es robustecer el espacio de características, el cual, junto con la clasificación supervisada orientada a objetos, permita generar mapas de cobertura de la tierra en el municipio de Santa Cruz de Mompós afectado frecuentemente por fenómenos climáticos debido a

las lluvias que se ven intensificadas por la ola invernal y el fenómeno de la Niña, lo cual genera condiciones atmosféricas neblinosas que no permiten que los sensores pasivos u ópticos puedan obtener imágenes satelitales de la cobertura terrestre al no ser capaces de penetrar a través de estas condiciones, por ello, el uso de imágenes tomadas por sensores activos como lo son los SAR son la mejor alternativa para realizar este tipo de estudios empleando técnicas de polarimetría.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Para la identificación y mapeo de las coberturas de la tierra sobre el área comprendida por el municipio de Santa Cruz de Mompós, que es de aproximadamente 65.215 hectáreas, se emplean dos imágenes ALOS/PALSAR dual-pol HH/HV las cuales en mosaico cubren la totalidad del municipio, estas fueron tomadas el 29 de Julio del 2010, temporalidad caracterizada por la elevada presencia de nubosidad debido a las condiciones meteorológicas adversas dado al acontecimiento del fenómeno de la niña y a la ola invernal. En cuanto a las características técnicas estas imágenes fueron tomadas en banda L (23,6 cm) con Beam Mode FBD, con ángulos de incidencia entre los 8° y 60°, con ancho de franja de 70 Km y con nivel de procesamiento Single Look Complex (SLC por sus siglas en inglés) que se encuentran en formato Slant Range, y que permite realizar los diferentes procesamiento polarimétricos. Adicionalmente se cuenta con dos imágenes de la misma zona de estudio, con las mismas características anteriormente descritas, adquiridas el 29 de octubre de 2010.

Por otro lado, se emplea un modelo digital de elevación (DEM por sus siglas en inglés) compuesto por dos imágenes en formato raster las cuales fueron tomadas por el sensor ALOS/PALSAR el 29 de Julio del año 2010 con Beam Mode FBD y un nivel de procesamiento radiometrically terrain-corrected (RTC por sus siglas en inglés), las cuales poseen una resolución espacial de 12,5 metros y se encuentran referenciadas geográficamente al sistema de coordenadas UTM Zona 18 norte con base al elipsoide WGS84. Este insumo se utiliza para el proceso de ortorectificación de las imágenes SAR el cual permite eliminar las diferencias en los ángulos de incidencia y minimizar la desviación en las posiciones en terreno (Veljanovski, Lamoveca, Pehani & Ostir, 2011).

Con la finalidad de interpretar y establecer las diferentes coberturas de la tierra presentes en la zona de estudio, se utiliza como guía el mapa de cobertura de la tierra periodo 2010-2012 elaborado mediante la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015).

En lo que respecta al software, el procesamiento de las imágenes de radar se realiza mediante el uso del software Sentinel Application Platform (SNAP por sus siglas en inglés) con el cual se ejecutan los algoritmos de calibración radiométrica, ortorectificación, descomposición polarimétrica, mosaico y recorte de las imágenes SAR. Por otro lado el proceso de clasificación de imágenes se realiza con el software PCI Geomatica 2018 versión de prueba utilizando la herramienta de Object Analysis que permite efectuar la clasificación supervisada orientada a objetos. Además se empleó como herramienta tecnológica un computador portátil cuyas principales especificaciones son; un

procesador Intel Core i5-8300H de octava generación, 8 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica Nvidia GTX 1050 de 6 GB.

2.2. Métodos

Calibración radiométrica

Con la finalidad de realizar un análisis cuantitativo de las imágenes SAR, estas deben calibrarse radiométricamente, pues el valor de pixel debe representar directamente la retrodispersión del radar de la superficie reflectante (Evans & Costa, 2012) y (Meenakshi & Punitham, 2011), y esto se logra al ejecutar este proceso.

Ortorectificación

En esta fase se ejecutan los algoritmos necesarios para eliminar o mitigar las distorsiones geométricas presentes en las imágenes SAR, además de obtenerlas en geometría Ground Range y georeferenciarlas al mismo sistema de coordenadas (Byun, Han & Chae, 2015), el cual para este trabajo se estipuló el sistema de coordenadas proyectado Gauss- Krüger con origen central para Colombia.

Descomposición polarimétrica

La descomposición polarimétrica incoherente H/A/Alpha también conocida como descomposición basada en valores o vectores propios, es un método establecido en la hipótesis de que las características de dispersión de la polarización pueden representarse por el espacio de la entropía y el ángulo de dispersión promedio alpha mediante el análisis de valores y vectores propios de las matrices de Hermit (Domènech , 2015). Este proceso se compone de tres subprocesos los cuales permiten obtener tres parámetros de información (entropía, anisotropía y ángulo alpha) que representan características de la retrodispersión de la señal de radar en tierra a través de los datos polarimétricos que componen las imágenes SAR referente a sus polarizaciones HH/HV. Para el desarrollo de este trabajo se utiliza esta técnica debido a la presencia de dispersores distribuidos que hacen referencia a las coberturas naturales de la zona de estudio (Moreira , Prats-Iraola, Younis, Krieger, Hajnsek, & Papathanassiou, 2013), este tipo de dispersores solo se pueden caracterizar estadísticamente debido a la presencia de ruido speckle y ya que este debe mitigarse, solo pueden emplearse representaciones polarimétricas de segundo orden para analizarlos, estas se denominan como las matrices de covarianza (C) y de coherencia (T), que aunque matemáticamente se obtienen de formas diferentes, estas dos representaciones de la información polarimétrica son equivalentes (European Space Agency, 2019).

Las matrices de covarianza y coherencia son matrices hermitianas semi definidas positivas, que se definen como matrices cuadradas con entradas complejas que son equivalentes a su propia transpuesta conjugada y sus valores propios son no negativos (Domènech , 2015) y (Moreira , Prats-Iraola, Younis, Krieger, Hajnsek, & Papathanassiou, 2013). Estas matrices pueden modelarse de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

$$\langle [C_n] \rangle = \sum_{i=1}^k p_i [C_n]_i \quad (1)$$

$$\langle [T_n] \rangle = \sum_{i=1}^k q_i [T_n]_i \quad (2)$$

Donde las respuestas canónicas son representadas como $\langle [C_n] \rangle$ y $\langle [T_n] \rangle$, y los coeficientes de sus componentes en $\langle [C_n] \rangle$ y $\langle [T_n] \rangle$ son p_i y q_i respectivamente.

Para obtener los parámetros de entropía, anisotropía y ángulo alpha se deben aplicar las ecuaciones de la 3 a la 5.

$$H = \sum_{i=1}^k -p_i \log_n(p_i) \quad \text{con} \quad p_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^n \lambda_k} \quad (3)$$

$$A = \frac{\lambda_{n-1} - \lambda_n}{\lambda_{n-1} + \lambda_n} \quad (4)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n p_i \alpha_i \quad (5)$$

Donde (n) indica el tamaño de la matriz de coherencia o de covarianza y (p_i) la probabilidad del valor propio (λ_i) el cual representa la importancia relativa de este valor con respecto a la potencia o intensidad total retrodispersada (European Space Agency, 2019).

El estudio de esta descomposición polarimétrica incoherente se realiza principalmente a través del ángulo de dispersión promedio ya que sus valores pueden relacionarse con la física detrás del proceso de dispersión, pues si (α) = 0°, entonces la dispersión corresponde a un único rebote producido por una superficie, si (α) = 45° se presenta una retrodispersión de volumen o dipolos y si (α) = 90° el mecanismo de dispersión corresponde a un doble rebote (Applied Remote Sensing Training, 2017).

Por otro lado se tiene la interpretación de los valores propios los cuales corresponden a la potencia o intensidad retrodispersada asociada al vector propio correspondiente, el cual se relaciona con el mecanismo de dispersión y se estudia de acuerdo a los parámetros de entropía y anisotropía. La entropía determina el grado de aleatoriedad del proceso de dispersión que también puede interpretarse como el grado de desorden estadístico, su valor es una media adimensional que oscila entre 0 y 1; si vale 0 indica una alta probabilidad de que el mecanismo de dispersión dominante del pixel sea uno solo, por el contrario si tiende a 1 significa que todos los mecanismos de retrodispersión tienen la misma probabilidad de ser encontrados en dicho pixel (Applied Remote Sensing Training, 2017) y (European Space Agency, 2019). La anisotropía es un parámetro complementario a la entropía cuyas unidades son adimensionales y su valor se encuentra entre 0 y 1, puede utilizarse para detectar el retorno de objetivo único o múltiple (Lönngqvist, Rauste, Molinier, & Häme, 2010), desde un punto de vista práctico la anisotropía puede emplearse como fuente de discriminación solo cuando sea mayor que 0.7, pues a valores más bajos se ve muy afectada por el ruido de la imagen, por ende esta sería ruidosa (European Space Agency, 2019).

Clasificación supervisada de imágenes orientada a objetos

La clasificación temática busca generar e identificar agrupaciones o clústeres de píxeles en un espacio multidimensional de atributos (espacio de características) donde dichos grupos correspondan a respuestas o patrones espectrales definidos y se espera que correspondan a coberturas sobre la superficie terrestre, para generar estos grupos se utiliza un proceso de agrupamiento de datos estadísticos en la que cada pixel es asignado a una categoría de acuerdo a su respuesta espectral (Espejo, 2016). Este proceso se realiza en cuatro etapas, a saber: segmentación, donde se generan los objetos mediante la extracción de información de una imagen a partir de su división en diferentes regiones homogéneas, las cuales corresponden de forma aproximada con zonas de interés en la misma y emplea los parámetros de tamaño del objeto que indica que tan grande serán los objetos, la forma que establece el peso de la radiometría de la imagen y la compacidad que determina el grado de suavizado del borde de los objetos (Evans, Costa, Telmer & Silva, 2010); extracción de atributos, donde se capturan las formas, las texturas y las características espectrales de cada una de las capas de información que componen el espacio de características para cada uno de los objetos (por ejemplo compacidad, elongación, circularidad, rectangularidad, entre otros); entrenamiento, donde se seleccionan las muestras que servirán de referencia para clasificar la imagen y aquellas que serán utilizadas para la evaluación de exactitud de la clasificación resultante; y finalmente la clasificación, donde se aplica el algoritmo de clasificación para asignar cada objeto a una clase.

Metodología propuesta para la generación de mapas de coberturas de la tierra

La metodología general propuesta para este estudio puede visualizarse en la figura 1, la cual fue desarrollada con el fin de elaborar mapas de coberturas de la tierra en base a imágenes SAR y a la información derivada de estas, como son los tres componentes polarimétricos de entropía, anisotropía y ángulo alpha obtenidos a partir de la descomposición polarimétrica incoherente H/A/Alpha. Además se emplea como técnica de clasificación la denominada clasificación supervisada orientada a objetos. La metodología cuenta con seis fases, que inicia en el pre procesamiento y finaliza con la elaboración del mapa de coberturas de la tierra.

En la fase de pre procesamiento se preparan los insumos para iniciar con el flujo de trabajo, en este se calibran radiométricamente las imágenes SAR, además en esta fase se realiza el mosaico de las dos imágenes que representan el DEM y a este se le aplica un proceso de corrección geoidal con el fin de obtener alturas ortométricas, dado que las alturas por defecto de dicho insumo son elipsoidales.

En la fase de ortorectificación se ejecutan los procesos necesarios para corregir las distorsiones geométricas que presentan las imágenes SAR, para esto se usa el DEM y los metadatos de las imágenes ALOS/PALSAR suministrados al momento de la descarga de dichos insumos mediante el sitio web del Alaska Satellite Facility Vertex <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Luego en la fase de descomposición polarimétrica se obtienen los tres componentes de información que representan las características de la retrodispersión de la señal de radar en tierra que componen a las imágenes SAR, mediante la aplicación de la técnica de descomposición polarimétrica incoherente utilizando la metodología H/A/Alpha para imágenes SAR con polarización doble HH/HV, para ello en primera instancia se calcula la matriz de covarianza de un tamaño de 2x2 para las imágenes, luego a estas

se les aplica un filtrado speckle polarimétrico con el fin de reducir el speckle o efecto de sal y pimienta el cual es un fenómeno inherente de los sistemas SAR que resulta de la interacción entre el pulso de radar y las diferentes distribuciones de la dispersión en un objetivo, lo que reduce considerablemente la capacidad de interpretación de las imágenes (Rahman & Thakur, 2017), para ello se realiza un ensayo con cada uno de los filtros disponibles en el software SNAP con diferentes tamaños de ventana de filtrado, y se selecciona aquel que mejores resultados visuales genere. Luego de aplicar este filtrado se procede a ejecutar los algoritmos para obtener dicha información polarimétrica.

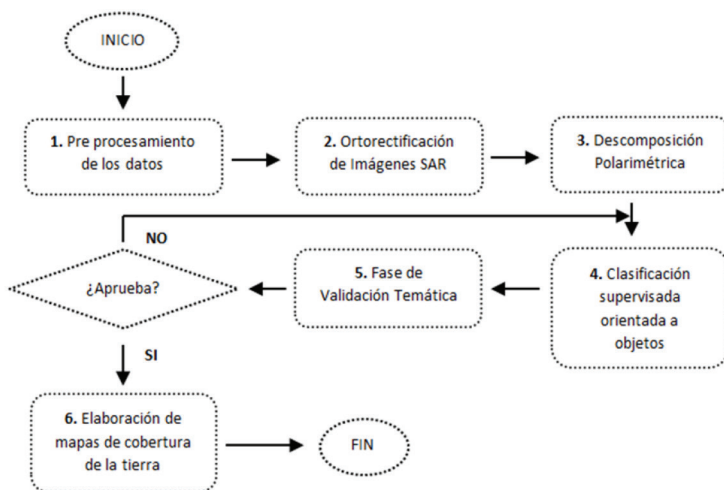


Figura 1 – Flujo de trabajo de la metodología propuesta.

Respecto a la clasificación de las imágenes SAR se emplea la técnica supervisada orientada a objetos, la cual para el desarrollo de este proyecto hace uso del algoritmo de clasificación de máquinas de soporte vectorial con función en base radial que ha permitido obtener buenos resultados, pues ha sido ampliamente utilizado en minería de datos e incluido como un clasificador exitoso en teledetección tanto en sensores pasivos como en activos (Longépé, Rakwatin, Isoguchi, Shimada & Uryu, 2010) y (Longépé, Rakwatin, Isoguchi, Shimada, Uryu & Yulianto, 2011). De esta fase se obtiene la clasificación de las imágenes SAR basadas en los canales de intensidad HH y HV los cuales deben ser previamente filtrados para mitigar el fenómeno de speckle, además de los tres componentes polarimétricos mencionados.

Para este trabajo se identifican ocho coberturas de la tierra teniendo en cuenta a su vez el mapa de cobertura de la tierra periodo 2010-2012 del IDEAM y el plano de clasificación H-alpha obtenido en la fase de descomposición polarimétrica. Estas coberturas son; aguas continentales naturales, áreas de pastos heterogéneas, bosques y áreas seminaturales, cultivos, pastos limpios, tejido urbano, vegetación acuática sobre cuerpos de agua y zonas pantanosas. Los parámetros usados para el subproceso de segmentación de la clasificación supervisada son tamaño del objeto (15), forma (0.1) y compacidad (0.3).

La siguiente etapa corresponde a la evaluación cuantitativa mediante el uso de la matriz de confusión, de la cual se pueden extraer estadísticos de medidas de exactitud como lo es el caso del coeficiente Kappa el cual determina si la exactitud de los mapas es la adecuada, si lo es se podrá continuar a la siguiente fase en la cual se elabora el mapa de uso y cobertura, de lo contrario será necesario mejorar y refinar la clasificación realizada antes de continuar. Para este proyecto dicho coeficiente se definió con un valor mínimo aceptable de 0,81 que indica que la clasificación temática es casi perfecta (Cerde & Villarroel, 2008). Posteriormente, luego de la puesta a punto de la metodología, esta es validada, haciendo uso de una fecha adicional posterior de análisis, a saber el 29 de octubre del año 2010.

3. Resultados y análisis de resultados

Durante la fase de la descomposición polarimétrica, se obtiene como resultados los componentes polarimétricos de entropía, anisotropía y alpha empleados como fuente de información para la clasificación de las coberturas (figura 2) con el fin de robustecer el espacio de características, adicionalmente se obtiene el plano de clasificación H-alpha que representa las características de dispersión de la polarización.

Luego en la fase número 4 referente a la clasificación supervisada orientada a objetos, se generan como resultados el filtrado de los canales de intensidad HH y HV utilizando el filtro Intensity Driven Adaptive Neighborhood (IDAN por sus siglas en inglés) con un tamaño de ventana de filtrado de 5x5 píxeles, así como la segmentación con base en los valores definidos para los tres parámetros. En la figura 3 pueden observarse estos resultados para el canal de intensidad HV.

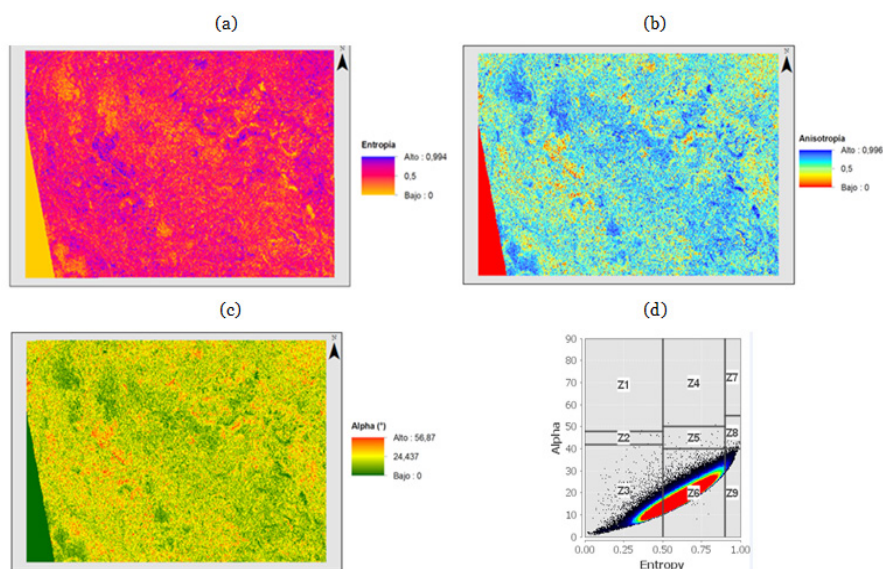


Figura 2 – a) Entropía, b) Anisotropía, c) Ángulo alpha, d) Plano de clasificación H-alpha.

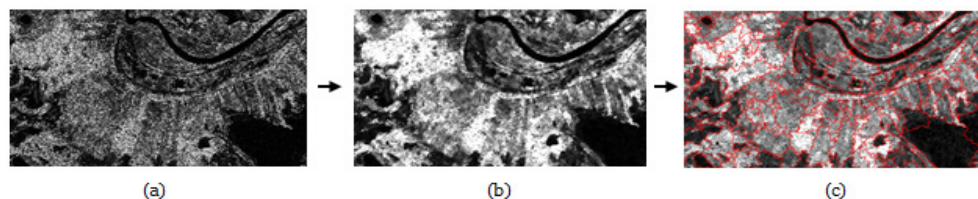


Figura 3 – a) Canal de intensidad HV, b) Filtro speckle IDAN aplicado al canal de intensidad HV, c) Segmentación.

Posteriormente, se obtiene entonces el mapa de coberturas de la tierra para la fecha del 09 de Julio del año 2010 el cual representa espacialmente las coberturas de la tierra identificadas únicamente sobre el municipio de Santa Cruz de Mompós y este puede visualizarse en la figura 4.

Respecto a la fase de validación temática, se designaron como muestras de evaluación de exactitud un total de 220 objetos durante el proceso de clasificación distribuidos de forma heterogénea en cada una de las ocho coberturas de la tierra identificadas, con los cuales se obtuvo como resultado el estadístico de exactitud denominado como coeficiente kappa cuyo valor fue de 0.83 y una exactitud global de 85.9%, dicho coeficiente es superior al valor mínimo del kappa definido, a saber 0.81, por ello el mapa tiene una exactitud adecuada. En cuanto a la validación para la fecha del 29 de octubre, el coeficiente kappa fue de 0.82.

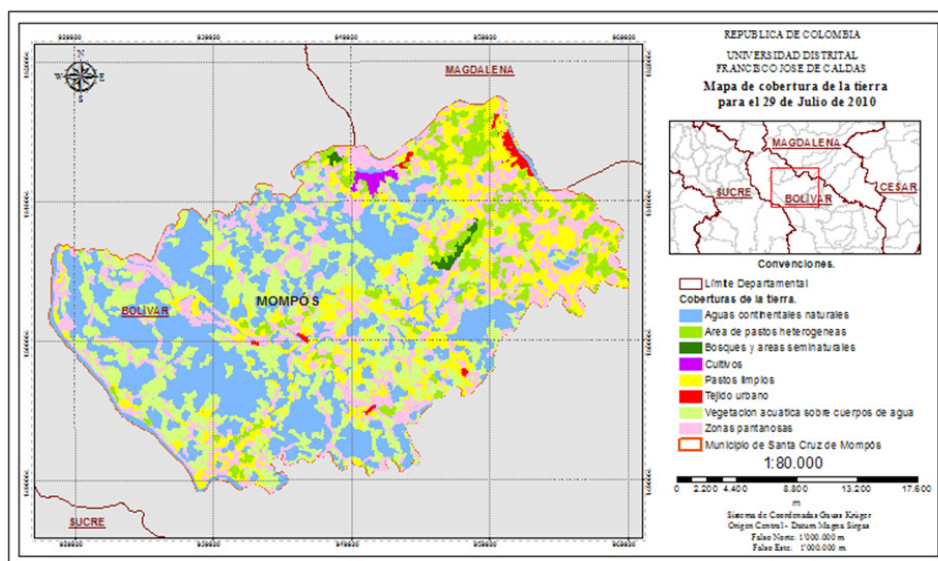


Figura 4 – Mapa de cobertura de la tierra del municipio de Santa Cruz de Mompós para el 29 de Julio del año 2010.

Los coeficientes kappa obtenidos son comparable con los resultantes en los trabajos de (Mishra & Susaki, 2012) y (Xu, Li, Lei, Tian & Shan, 2012) cuyos kappa más altos obtenidos son de 0.81 y 0.89 respectivamente, teniendo en cuenta que utilizaron como insumos base imágenes tomadas por sistemas SAR que poseen las cuatro polarizaciones lineales HH/HV/VH/VV denominadas como Quad Pol, con las cuales obtuvieron varias capas de información polarimétrica adicionales, pues para el primer trabajo mencionado se empleó la descomposición de Freeman-Durden y para el segundo las de Pauli y la H/A/Alpha, y al igual que en este trabajo, hicieron uso del algoritmo de clasificación de máquinas de soporte vectorial en un enfoque de clasificación supervisada. Por ello a pesar de que el desarrollo metodológico descrito en este documento se efectuó sobre imágenes SAR con únicamente dos polarizaciones con las que pudo obtenerse tres componentes de información polarimétrica (figura 2), aún así la exactitud resultante para el mapa de coberturas de la tierra es destacable si se tiene en cuenta que fue posible detectar ocho coberturas diferentes.

Dado lo anterior se establece que el uso de la información de los canales de intensidad HH y HV, así como la información polarimétrica expresada en los parámetros de entropía, anisotropía y ángulo alpha, el uso del enfoque de clasificación supervisada orientada a objetos y la aplicación del algoritmo de máquinas de soporte vectorial permiten generar mapas de cobertura de la tierra con muy buenos resultados a pesar de las limitaciones con las que cuentan las imágenes tomadas por sistemas SAR ante este tipo de aplicaciones, pues comparativamente son menos eficientes que imágenes tomadas con sensores pasivos.

Por otro lado, cabe resaltar que para el correcto desarrollo de la metodología propuesta no se requiere una exigencia elevada de hardware, pues con base en las características del equipo empleado y el área objeto de estudio, los tiempos de cálculo por proceso en cada una de las seis fases no eran mayores a los veinte minutos. En caso de aplicar masivamente el proceso en áreas mayores, y contando con un servidor de cálculo, la respuesta de la metodología permitiría obtener resultados oportunos.

5. Conclusiones

El presente trabajo ofrece una metodología enfocada a la clasificación de coberturas de la tierra empleando como base la información derivada de imágenes tomadas por sistemas SAR, la cual demostró generar buenos resultados en la elaboración de un mapa de cobertura de la tierra para el municipio de Santa Cruz de Mompós ubicado en el departamento de Bolívar, Colombia, en una temporalidad en la cual las condiciones atmosféricas imposibilitaban el uso de imágenes satelitales tomadas por sensores pasivos las cuales son ampliamente utilizadas para este tipo de aplicaciones, pues son las más adecuadas.

Este mapa que fue generado a partir de imágenes SAR dual pol HH/HV el cual obtuvo una exactitud comparable con las obtenidas por diferentes técnicas de clasificación desarrolladas en la última década que hacen uso de imágenes Quad Pol y de diferentes descomposiciones polarimétricas, por ello se determina que la metodología descrita es una propuesta viable para obtener mapas de las coberturas de la tierra utilizando imágenes SAR con dos o cuatro polarizaciones lineales.

Referencias

- Alberga, V. (2007). A study of land cover classification using polarimetric SAR parameters. *International Journal of Remote Sensing*, 28(17), 3851-3870.
- Applied Remote Sensing Training (ARSET). (2017). *Introduction to Synthetic Aperture Radar* [Internet]. Retrieved from <https://arset.gsfc.nasa.gov/disasters/webinars/intro-SAR>
- Byun, Y., Han, Y., & Chae, T. (2015). Image Fusion-Based Change Detection for Flood Extent Extraction Using Bi-Temporal Very High-Resolution Satellite Images. *Remote Sensing*, 7, 10347-10363.
- Cerda, J., & Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58.
- D'Addabbo, A., Refice, A., Pasquariello, G., & Lovergine, F. (2016). SAR/optical data fusion for flood detection, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Beijing, 2016, pp. 7631-7634. doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730990
- Domènech, J. (2015). *H- α decomposition and unsupervised Wishart classification for dual-polarized polarimetric SAR data*. (Master's Thesis in Telecommunication Engineering). Department of Telecommunications and Systems Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Espejo, O. (2016). *Desarrollo de una metodología para estimación de la deforestación mediante el análisis multitemporal de imágenes multiespectrales en un entorno de análisis basado en objetos geográficos (GEOBIA)*. (Tesis de Maestría en Ciencias de la Información y las Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- European Space Agency (ESA). (2019). *Polarimetric Decompositions* [Internet]. Retrieved from https://earth.esa.int/documents/653194/656796/Polarimetric_Decompositions.pdf
- Evans, T. L., & Costa, M. (2012). Landcover classification of the lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT 2 and ENVISAT/ASAR imagery. *Remote Sensing of Environment*, 128, 118-137.
- Evans, T. L., Costa, M., Telmer, K. & Silva, T. (2010). Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land Cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4), 560-575.
- Humboldt State University. (2015). Retrieved from http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson6-1/object.html
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). *Mapas de coberturas de la tierra* [Internet]. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-nacionales>

- Klran, D., & Anjaneyulu, L. (2016). Eigen Value and Eigen Vector Based Decomposition and Wishart Supervised Classification on Fully Polarimetric SAR Data. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(S1), 1-6.
- Longépé, N., Rakwatin, P., Isoguchi, O., Shimada, M. & Uryu, Y. (2010). On the use of Support Vector Machines for land cover analysis with L-band SAR data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 3263-3266. 10.1109/IGARSS.2010.5653803.
- Longépé, N., Rakwatin, P., Isoguchi, O., Shimada, M., Uryu, Y. & Yulianto, L. (2011). Assessment of ALOS PALSAR 50 m Orthorectified FBD Data for Regional Land Cover Classification by Support Vector Machines, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6), 2135-2150.
- Lönnqvist, A., Rauste, Y., Molinier, M., & Häme, T. (2010). Polarimetric SAR Data in Land Cover Mapping in Boreal Zone. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 48. 3652 - 3662.
- Meenakshi, A. V., & Punitham, V. (2011). Performance of speckle noise reduction filters on Active Radar and SAR images. *International Journal of Technology And Engineering System*, 2(1), 111-114.
- Mishra, B. & Susaki, J. (2012). Generation of pseudo-fully polarimetric data from dual polarimetric data for land cover classification. Proceedings of International Conference on Computer Vision in Remote Sensing, CVRS 2012. 262-267. 10.1109/CVRS.2012.6421272.
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. (2013). *A tutorial on Synthetic Aperture Radar*. Retrieved from: http://www2.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/teaching/PPRS/PPRS_7/esa_sar_tutorial.pdf
- Rahman, M. R., & Thakur, P. K. (2017). Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case of study from the Kendrapa District of Orissa State of India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.*, 21(S1), 37-41.
- Veljanovski, T., Lamoveca, P., Pehani, P., & Ostir, K. (2011). Comparison of Three Techniques for Detection of Flooded Areas on Envisat and Radarsat-2 Satellite Images.
- Xu, J., Li, Z., Lei, L., Tian, B & Shan, Z. (2012). Land cover classification of polarimetric SAR images for the Yellow River Delta based on support vector machine, *International Conference on Computer Vision in Remote Sensing*, pp. 256-261, Xiamen, doi: 10.1109/CVRS.2012.6421271.
- Zerrouki, N & Bouchaffra, D. (2014). Pixel-based or Object-based: Which approach is more appropriate for remote sensing image classification?, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 864-869, San Diego, doi: 10.1109/SMC.2014.6974020.

Automatización de bajo costo para integración de sistemas distribuidos basado en OPC UA e ISA-95

Gustavo Caiza¹, Jairo D. Llamuca², Jaime R. Guilcapi², Carlos A. Garcia², Marcelo V. Garcia^{2,3}

gcaiza@ups.edu.ec, jllamuca6533@uta.edu.ec, jr.guilcapi@uta.edu.ec, ca.garcia@uta.edu.ec, mv.garcia@uta.edu.ec

¹ Universidad Politécnica Salesiana, UPS, 170146, Quito, Ecuador.

² Universidad Técnica de Ambato, UTA, 180103, Ambato, Ecuador.

³ University of Basque Country, UPV/EHU, 48013, Bilbao, Spain.

Pages: 69–82

Resumen: Las soluciones de automatización con el paso del tiempo han permitido relacionar e integrar diferentes aplicaciones, esto se dificulta cuando se involucran niveles funcionales de la organización, lo que requiere sistemas con mejor flexibilidad, interoperabilidad, y mayor escalabilidad. Por este motivo, para el desarrollo de este proyecto se selecciona; el estándar ISA-95, para adoptar flexibilidad con un óptimo intercambio de información; el estándar IEC-61499, para dotar de portabilidad e interoperabilidad; y SOA, medio de integración en Industria 4.0. Este trabajo propone el desarrollo de una arquitectura de comunicación modular de sistemas distribuidos eficientes (de bajo costo) bajo el estándar IEC-61499, cuyos parámetros se supervisan enmarcadas en el flujo de información del modelo de equipos del estándar ISA-95, utilizando el marco SOA de OPC-UA con MQTT para su integración. El resultado muestra una arquitectura de comunicación ligera, flexible con mejor interoperabilidad y escalabilidad.

Palabras-clave: Control Distribuido; IEC-61499; ISA-95; OPC-UA; Protocolo de comunicación MQTT.

Low-cost automation for integration of distributed systems based on OPC UA and ISA-95

Abstract: The automation solutions over time have allowed relating and integrating different applications; this is complicated when involving the organization functional levels, so they need systems better flexibility, interoperability, and greater integrity and scalability in information management. To accomplish this goal, for the development of this project is selected; the ISA-95 standard, to adopt flexibility with an optimal exchange of information; the IEC-61499 standard, to provide portability and interoperability; and SOA, integration way in Industry 4.0. This paper proposes the development of a modular communication architecture of efficient distributed systems (low cost) under the IEC-61499 standard, whose

parameters are monitored framed to the data flow of the equipment model of the ISA-95 standard, using an OPC-UA's SOA framework with MQTT for its integration. In this paper, the result shows a flexible lightweight communication architecture with enhancing scalability and interoperability.

Keywords: Distributed Control; IEC-61499; ISA-95; OPC-UA; MQTT communication protocol.

1. Introducción

La necesidad actual de optimizar los procesos de producción, para evitar perder competitividad, ha exigido a las organizaciones incorporar nuevas soluciones en sus procesos. Esto conlleva un avance tecnológico en la industria con el fin de impulsar a las empresas a producir productos personalizados, pero que acarrea, según el análisis de (Keller, Rosenberg, Brettel, & Friederichsen, 2014), el incremento en la utilización de información en los procesos, conjuntamente con, la necesidad de desarrollar técnicas orientadas a un control distribuido y a sistemas de monitoreo integrados.

Un perfecto conducto de comunicación para el control del flujo de datos, entre los niveles jerárquicos, es la integración vertical, que según (Ismail & Kastner, 2016), hoy en día es una ambición para ganar competitividad frente a sistemas modernos, debido a su enfoque de I4.0 (Industria 4.0) con vinculación a IoT (Internet of Things - Internet de las Cosas) Industrial.

Esta solución vertical permite la conectividad de una gran cantidad de dispositivos, sistemas y servicios, que procesan grandes cantidades de información, por lo que es esencial un monitoreo para la recopilación de datos representativos. El monitoreo es clave actualmente, sobre todo para superar en parte la carencia en el control de datos relacionados con la supervisión de parámetros de equipos y activos físicos, necesarios para tareas de evaluación de condiciones y diagnóstico de fallas; el contexto completo es estudiado a fondo en los sistemas de monitoreo de condición (Fleischmann et al., 2017).

Existe gran interés de organizaciones por acoger contribuciones que traten estos inconvenientes de interoperabilidad, con el fin de obtener una comunicación eficiente para una mejor disponibilidad de información y solucionar problemas de integración al ambiente de I4.0. En este ámbito; Los modelos de ISA-95 son suficientemente: flexibles, robustos, y perfectamente integrables, en entornos personalizados, para optimizar el uso de recursos y controlar el flujo de datos (Harjunoski, Bauer, & Suresh, 2014), además, según (Wally, Huemer, & Mazak, 2017), permiten la integración con estándares de nivel bajo de automatización, incluso la jerarquía de ISA-95 es considerado un aporte vital en la evaluación de interoperabilidad según requisitos de I4.0 (Saturno, Ramos, Polato, Deschamps, & de Freitas, 2017).

La arquitectura definida en tipos de FBs (Function Blocks - Bloques de Función) por IEC-61499 proporciona beneficios de portabilidad e interoperabilidad en los niveles de planta, estos permiten optimizar recursos en sistemas flexibles, asimismo, posibilita la integración de aplicaciones distribuidas desde documentación de diseño y datos de otros estándares (Vyatkin, 2011).

En razón a todo lo expuesto anteriormente. Este proyecto propone una arquitectura de comunicación ligera basado en IoT, para la supervisión desde la red, de los parámetros de equipos. Este trabajo presenta un método novedoso para extraer la información de interés de equipos y activos físicos. La interoperabilidad de la arquitectura permite que la información sea transferida en tiempo real desde la planta hacia el servidor encargado de ponerla a disponibilidad para la integración con herramientas compatibles de nivel de Gestión. Finalmente, la escalabilidad de la arquitectura permite añadir y publicar mayor parámetros de información en el servicio. De esta forma, se le permite al cliente final, supervisar en tiempo real, desde un navegador conectado a la red, la información de los parámetros de equipos y activos físicos que desee y evaluar su estado, para tomar decisiones con mayor precisión.

El contenido del artículo está estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta una serie de estudios que guardan relación e incentivaron el desarrollo de este trabajo; En la sección 3, se proporciona conceptos breves de; ISA-95, IEC-61499, MQTT y OPC-UA, que permitirán una mejor comprensión de las secciones siguientes; Luego, la descripción de la arquitectura de comunicación, y el resto de la metodología propuesta, se presenta en la sección 4; En la sección 5, la idea se ilustra en un ejemplo de caso de estudio; Finalmente, el trabajo se concluye y se presenta posibles trabajos futuros en la sección 6.

2. Trabajo Relacionados

En esta sección se da a conocer estudios, que además de tener relación con el presente proyecto, aportan al contexto del mismo. En tal razón, se presenta una serie de trabajos relacionados con plataformas de monitoreo/supervisión, que utilizan protocolos de comunicación habilitados para IoT e I4.0, así también empleando los estándares IEC-61499 e ISA-95.

Hästbacka et al. (Hästbacka et al., 2014) proponen una arquitectura de monitoreo escalable que proporciona información del estado de dispositivos de la planta a las aplicaciones de nivel empresarial, en este estudio utilizan OPC-UA como intermediador para facilitar el intercambio heterogéneo de información entre dispositivos de diferentes proveedores de manera confiable. De esta forma, logran el descubrimiento y el monitoreo dinámico de los dispositivos heredados del taller, sin embargo, al no utilizar un modelo de información óptimo en vez del modelado de información avanzada de OPC-UA, provoca mayor tráfico de datos, por lo que es necesario almacenar datos localmente de manera temporal hasta que la red esté disponible.

Otro trabajo interesante es el que presentan Wonder et al. (Wenger, Zoitl, Blech, Peake, & Fernando, 2016), en el cual proponen una novedosa infraestructura ágil de monitoreo basado en la nube, bajo el estándar IEC-61499. En el escenario de monitoreo que proponen, el lenguaje específico de domino, determina el tipo de comportamiento de los FBs, para recolectar, en un registro, los eventos y marcas de tiempo, desde variables concretas, sin afectar las funciones de control. Estos valores son publicados a los topics del Broker localizado en la nube, desde el cliente MQTT soportado por FORTE. Sin embargo, un modelo de referencia de información que facilite el desarrollo de interfaces

automatizadas, como ISA-95/IEC-62264, no es cubierta en esta investigación, así como, la integración de nuevas normas de comunicación a nivel empresarial como OPC-UA.

Actualmente, el protocolo ligero de comunicación MQTT es muy popular para el desarrollo de sistemas de monitoreo en diferentes aplicaciones y entornos de beneficio social y empresarial, estudios como los desarrollados por (Alqinsi, Matheus, Ismail, & Darmalaksana, 2018; Grgić, Špeh, & Hedi, 2016; Mishra, Kumari, Sajit, & Pandey, 2018), robustecen la capacidad del protocolo MQTT en comunicaciones basadas en IoT, sobre tarjetas controladoras inteligentes de bajo coste; así también, constatan la efectividad en la toma de datos y el monitoreo web en tiempo real de dispositivos de automatización industrial, heredados e inteligentes, también constatan el tamaño reducido de carga para transmitir los datos por mensajes.

El punto de partida, para el presente proyecto, lo da el estudio de García et al. (García, Irisarri, & Pérez, 2017), el cual incentiva buscar soluciones que permitan reducir esfuerzos en la integración de CPPSs incorporando estándares compatibles con OPC-UA.

En resumen, estos trabajos tratan de utilizar técnicas que involucren el diseño y la utilización de nuevas infraestructuras de comunicación para conseguir el monitoreo de las variables de los dispositivos de campo bajo normas y protocolos específicos, como: IEC-61499, ISA-95, OPC-UA, y MQTT, pero no se centran en el diseño de sistemas que aprovechen la integración de estos estándares para lograr un sistema más útil en fábricas inteligentes, aprovechando el punto fuerte de cada uno de estos.

3. Fundamentación Teórica

Esta sección presenta conceptos y características breves para el entendimiento de la arquitectura de monitoreo y el caso de estudio propuesto en el presente trabajo.

3.1. ISA-95/IEC-62264

El estándar ISA-95/IEC-62264 proporciona un modelo de referencia que prepara en categorías, el tipo de información que puede ser intercambiada para desarrollar interfaces automatizadas entre sistemas empresariales y de control. ISA-95 define de forma jerárquica los equipos, estos contienen parámetro y sus valores pueden ser mapeados a través de propiedades de tipo de dato o propiedades de objeto (Hood, 2015; ISA-Sp95, 2008). La disposición jerárquica de los equipos es flexible y permiten extender niveles más abajo según la profundidad del análisis del sistema, así también, el estándar permite usar niveles de otras especificaciones (Janne, 2014).

3.2. IEC-61499

IEC-61499 es un lenguaje de modelado que facilita la representación de sistemas de control distribuido. El elemento principal de la arquitectura del estándar es el FB, este contiene características que permiten modelar aplicaciones complejas descentralizando su lógica de control para que sea factible la implementación de controles holónicos que hagan al sistema más flexible y con mayor interoperabilidad (CENELEC, 2003; Trejo-Hernandez & Lopez-Mellado, 2013). El estándar IEC-61499 proporciona tres tipos de

Fbs: 1) Bloques de función básica (BFB), cuya ejecución interna está condicionada por graficas de control de ejecución (ECC) que consta de estados, transiciones y acciones de control de ejecución; 2) Bloques de función compuesta (CFB), cuya configuración permite encapsular una red de FB en otro FB u otros CFB interconectados y sincronizados; 3) Bloques de función de interfaz de servicio (SIFB), cuya función sirve para el control de dispositivos y permite asociar la aplicación del FB a un objetivo de hardware específico.

El proceso de diseño de FBs posibilita en gran medida la realización de tareas de control y supervisión sobre procesos industriales distribuidos, esto reduce el esfuerzo de ingeniería para tratar con datos de los sistemas distribuidos flexibles, el aporte de (Zoitl & Lewis, 2014), ofrece una descripción más completa.

Existen varias herramientas software compatibles con IEC-61499, en especial, para el presente proyecto se ha utilizado 4DIAC, este software está compuesto por 4DIAC-IDE y su entorno Runtime FORTE, que permiten el diseño y la ejecución de programas de control y monitoreo distribuido en pequeños dispositivos integrados (Zoitl, Strasser, & Ebenhofer, 2013).

3.3. OPC-UA

OPC-UA extiende la interoperabilidad de nivel de control de procesos al área de análisis de información, para: adquisición de datos, modelado de información, y comunicación entre aplicaciones, con seguridad y fiabilidad. La plataforma de OPC-UA aumenta la visibilidad y el alcance de conectividad, facilitando la comunicación de los sistemas heredados con los sistemas de Gestión en aplicaciones IoT, integrando así, con mayor facilidad, interfaces gráficas para el monitoreo y administración de parámetros de configuración e información en tiempo real de los sistemas de campo (Ye & Hong, 2018).

OPC-UA permite desarrollar y diseñar sistemas de comunicación que se distribuyen la ubicación de datos en la planta mediante modelos de comunicación Client/Server. El enfoque orientado a objetos de OPC-UA permite la generación de modelos de UA a partir de un modelo de información de objetos comunes de ISA-95, tal como, la información de equipos basado en el rol y la información de activos físicos; el modelo maximizado resultante contempla términos de ISA-95 y OPC-UA que pueden ser fácilmente distinguidos en modelos de información Namespace dentro de cada AddressSpace (Ono, Ali, Hunkar, & Brandl, 2013).

3.4. MQTT

El protocolo MQTT trabaja sobre el protocolo de transporte TCP/IP para la transferencia de mensajes, este protocolo es muy ligero, por lo que es adecuado para recursos limitados y entornos restringidos con mínimo ancho de banda de la red. MQTT garantiza la entrega del mensaje en forma asíncrona mediante protocolos Client-Server Publish-Subscribe. Cualquier objeto IoT puede ser un Cliente Subscriber-Publisher MQTT, de manera complementaria, el Broker MQTT puede manejar la comunicación de miles de Clientes MQTT enlazados a un Topic específico. El mensaje entregado por MQTT es filtrado por Topic, que es una estructura jerárquica basada en texto, y se posiciona separando cada jerarquía con una barra oblicua (/) (Manandhar, 2017).

4. Metodología.

Un Sistema de Producción Modular (MPS) FESTO © es considerado para este trabajo, este representa un modelo a escala de un proceso industrial real. El MPS está compuesto por una estación de distribución y una estación de clasificación, cada estación cuenta con dos módulos; alimentación y transferencia, transportador y almacén, respectivamente.

En esta sección se presenta la composición hardware requerida por el sistema y la arquitectura del sistema propuesto para el monitoreo basado en IoT del MPS.

4.1. Arquitectura Hardware

La Arquitectura Hardware está compuesta por las tarjetas de bajo coste Raspberry Pi 3 modelo B+ (RPi3) y BeagleBone Black (BBB). Ambas son ordenadores de placa reducida que permiten trabajar con sistemas operativos (SOs) de código abierto desarrollados para dispositivos embebidos, estas tarjetas llevan instaladas distribuciones basadas en Linux Debian. Por un lado, RPi3 con Raspbian Stretch, y BBB con Debian Stretch pre-instalado.

En cuanto a las características hardware de las tarjetas. La RPi3 cuenta con: un procesador quad-core-64bits de 1.4GHz con 1GB de RAM, un terminal de interacción GPIO de 40 pines, puerto de comunicación Ethernet, 4 puertos de comunicación USB 2.0, capacidad de conexión Wireless LAN y Bluetooth, y un puerto de expansión micro SD para la carga del SO y almacenar los datos. La BBB cuenta con: un procesador AM335x de 1GHz con 512 MB de RAM, dos terminales de propósito general GPIO con 46 pines cada uno, capacidad de conexión Wireless LAN, un mini-puerto USB cliente para comunicación y alimentación, un puerto de comunicación USB 2.0, y un puerto de expansión micro SD para almacenamiento.

4.2. Arquitectura de Comunicación General

La arquitectura de comunicación general del sistema de monitoreo propuesto se presenta en la Figura 1. Este sistema se basa en la combinación de los protocolos de IoT MQTT y OPC-UA, asignando una aplicación para cada protocolo. Atribuir la transferencia de información a diferentes protocolos, y en aplicaciones con condiciones donde estos mejor se desenvuelven, permite maximizar la capacidad del sistema. En tal motivo, el sistema se divide en dos aplicaciones específicas; la aplicación de integración para la obtención del estado de los dispositivos y/o componentes de nivel de campo y la aplicación de interfaz visual con el fin del monitoreo de la información obtenida. MQTT es usado para la adquisición de información, y OPC-UA es usado para la toma de datos significativos de la interfaz gráfica.

4.2.1. Aplicación de Integración

Aquí los dispositivos se conectan a las tarjetas para adquirir la información de su estado, es decir, se integra el proceso físico con el sistema, utilizando MQTT y FBs. El uso de FBs en la lectura de señales desde los pines GPIO de las tarjetas, facilita la distribución de la lógica de ejecución en el hardware, añadiendo flexibilidad al sistema. Los tipos de FBs necesarios están contenidos en aplicaciones de IEC-61499.

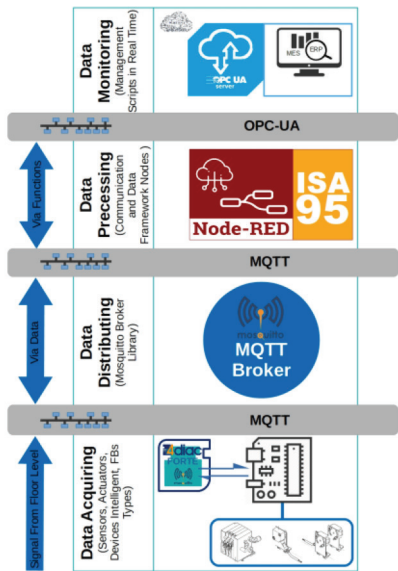


Figura 1 – Arquitectura General de Comunicación del Sistema de Monitoreo propuesto.

4Diac utiliza una librería de descripción de dispositivo para cada tarjeta, de esta forma permite mapear las aplicaciones IEC-61499 a cada dispositivo a través de sus recursos. Sobre la red de FBs, la información obtenida es transmitida a FBs diseñados (*Figura 3*) para almacenar las especificaciones del equipo. Luego esta información es publicada al *broker* dentro de *topics* determinados por el proveedor, bajo el direccionamiento de SIFBs configurados a modo de clientes MQTT, como se muestra en la *Figura 2*. El *broker* distribuye la información a los clientes subscriptores en el nivel superior.

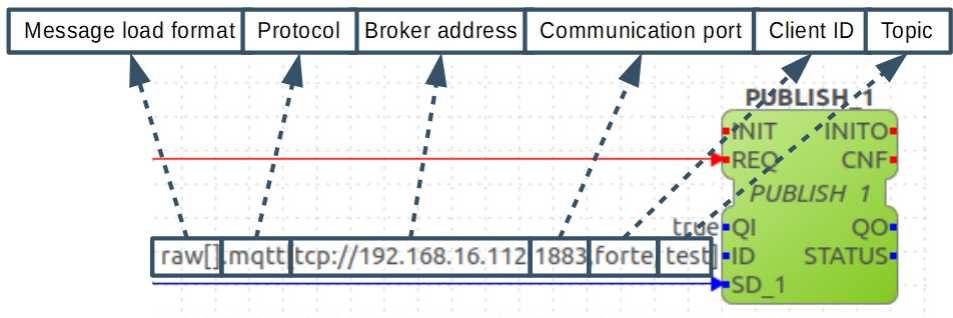


Figura 2 – Configuración del SIFB para la comunicación con el *Broker*.

4.2.1.1. Conjunto de FBs diseñados

Para el diseño de los FBs que se muestran en la *Figura 3*, se toma como referencia la información requerida por los modelos propuestos de ISA-95.

A. FBs de Modelo de Equipo

El FB **EQUIPMENT** es un BFB, este es el FB principal, contiene la información requerida de todos los equipos dentro del algoritmo de control en su ECC. A diferencia de la información del estado del equipo, el resto de información contenida se mantiene constante, y es extraída de acuerdo a la identificación del equipo. La interfaz del FB **EQUIPMENT** se muestra en la Figura 3, este cuenta con un flujo de eventos comunes al de un FB típico. En el flujo de datos: 1) el dato **QI** esta enlazado con el evento **INIT** e inicializa el BFB cada vez que se solicita un evento **INIT**; 2) el dato **ID** contiene la identificación del equipo; 3) el dato **IN** contiene el valor actual del pin asignado al equipo; 4) el dato **QO** informa sobre el estado del último evento ejecutado en el BFB; 5) los datos **Enterprise**, **Site**, **Area**, **WorkCenters**, **WorkUnits**, corresponden a la información de la jerarquía de cada equipo basado en el role, según ISA-95; 6) el resto de datos de salida corresponden a los atributos propuestos por el modelo de información de ISA-95.

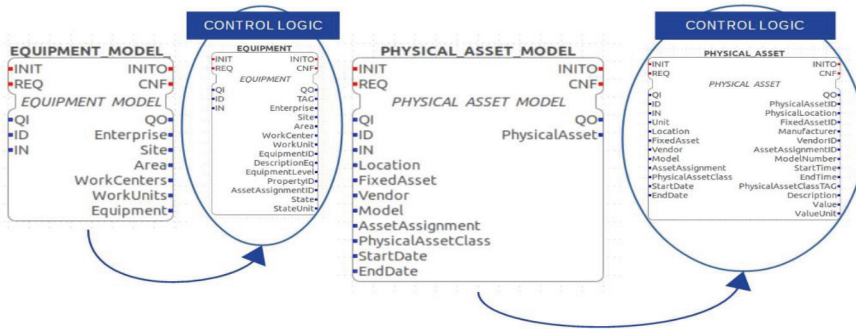


Figura 3 – Interfaz de FBs para la transmisión de datos de Equipos y Activos Físicos.

El FB **EQUIPMENT_MODEL** es un CFB, este contiene una red de FBs dedicados, unos para la conversión de datos, y otros para la construcción de la cadena tipo string con todos los atributos del BFB **EQUIPMENT**, cada uno separado por un carácter del abecedario. La interfaz del FB **EQUIPMENT_MODEL** también se muestra en la Figura 3, en este los evento **INIT**, **REQ**, **INITO**, **CNF**, y los datos **QI**, **ID**, **QO**, **Enterprise**, **Site**, **Area**, **WorkCenters**, **WorkUnits**, son conectado directamente a su correspondiente del FB **EQUIPMENT**. Por otro lado: 1) el dato **IN** pasa a tipo *string* antes de conectarse al dato **IN** del FB **EQUIPMENT**; 2) el dato **Equipment** ofrece la cadena string de todos los atributos con su carácter de separación.

B. FBs de Modelo de Activo Físico

El FB **PHYSICAL_ASSET** es un BFB y el FB **PHYSICAL_ASSET_MODEL** es un CFB, estos FBs presentados en la Figura 3, poseen características de diseño similares a los FBs **EQUIPMENT** y **EQUIPMENT_MODEL**, pero con referencia al modelo de activos físicos. Su diferencia es notable en la interfaz de los FBs, diferencias como: 1) aumenta datos de entrada debido a que los activos físicos son considerados por ISA-95 como equipos físicos que pueden ser reemplazados, por lo tanto la mayoría de sus atributos

cambian periódicamente; 2) los datos de salida Enterprise, Site, Area, WorkCenters y WorkUnits, de la jerarquía de equipo, no son considerados para el modelo de activos físicos; 3) los atributos de los activos físicos son diferentes a los atributos de los equipos. Debido a que la condición *raw[]* en los parámetros de comunicación (Figura 2) admite solo el tipo de dato *string*, todas las salidas de los CBFs son de tipo *string* para evitar problemas de comunicación.

4.3. Flujo de Información del Sistema

El flujo de información del sistema de monitoreo propuesto, se puede apreciar en el diagrama de secuencia de la Figura 4. En el cual, para habilitar el flujo de información los componentes de MQTT y de OPC-UA deben estar iniciados. Cuando el MQTT broker y el OPC-UA server son iniciados, habilitan sus direcciones IP para que los clientes MQTT y OPC-UA respectivamente, puedan conectarse e iniciar el flujo de información.

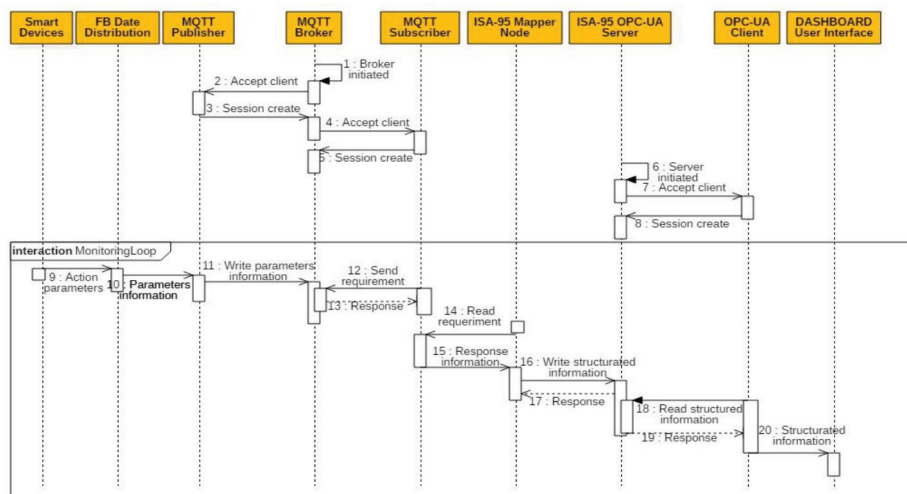


Figura 4 – Diagrama de secuencia del flujo de trabajo y mensajería del sistema de monitoreo.

El bucle del flujo de información es conciso. La información que ingresa a las tarjetas inteligentes, es obtenida constantemente al inicio del flujo de información por la red de FBs, esta red añade información de parámetros propuestos por ISA-95 al mensaje, luego esta información es publicada a través de un cliente MQTT, soportado por FORTE, hacia un espacio de dirección *topic* del *broker* MQTT, posteriormente el cliente suscriptor MQTT obtiene el mensaje sencillo y lo envía en seguida, para su depuración y estructuración según especificaciones de ISA-95, en secuencia la información estructurada dentro del mensaje, es escrita en un espacio de nombres del servidor OPC-UA, después de un direccionamiento el cliente OPC-UA lee la información estructura, descompone el mensaje y finalmente lo envía a un servidor web con tecnología IoT de interfaz gráfica *dashboard* para su presentación visual y posterior monitoreo.

La sesión MQTT se constituye cuando el cliente publicador MQTT soportado por FORTE y el nodo cliente suscriptor MQTT soportado por NodeRED establecen la comunicación añadiendo la dirección IP del *broker* y configurando el puerto de comunicación. De forma semejante para establecer la sesión OPC-UA, el servidor OPC-UA debe aceptar el requerimiento de conexión del cliente OPC-UA una vez localiza la dirección IP del servidor OPC-UA en el puerto de comunicación.

5. Caso de Estudio

En esta sección se presenta una configuración de ejemplo del sistema de monitoreo propuesto. Las dos estaciones del MPS son consideradas para el diagrama del flujo de información del caso práctico que se muestra en la *Figura 5*, pero finalmente solo el módulo de alimentación, específicamente el equipo apilador es considerado para el monitoreo.

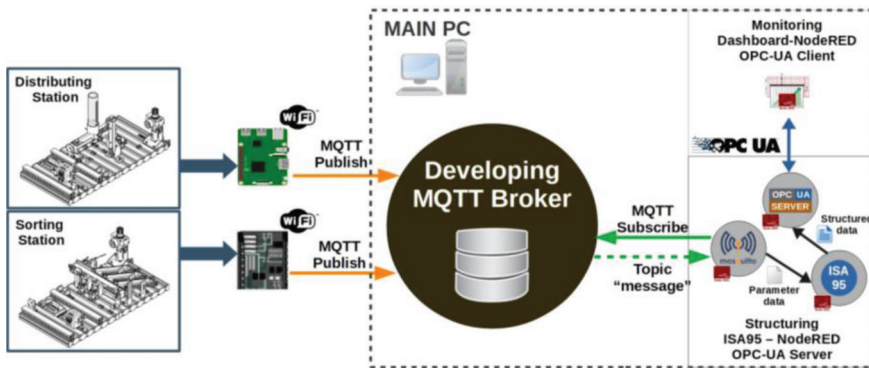


Figura 5 – Diagrama de flujo de trabajo del sistema para el caso de estudio.

Entre la composición hardware que requiere el sistema; la tarjeta RPi 3 es usada como medio de adquisición de parámetros de la estación de distribución y la tarjeta BBB como medio de adquisición de parámetros de la estación de clasificación; ambas tarjetas de periferia distribuida, ejecutan el Runtime FORTE, y trabajan como clientes MQTT para la publicación de los parámetros. La comunicación del sistema con las tarjetas se realiza mediante conexión wifi a la red industrial, de esta forma la PC principal se puede comunicar a las tarjetas por medio de una conexión ethernet a la red industrial. La PC principal configura el *broker*; así también, el entorno de trabajo de NodeRED con los clientes suscriptores MQTT, la estructuración de la información según ISA-95 y el servidor OPC-UA. Los clientes OPC-UA se configuran en otro flujo de NodeRED.

La aplicación de integración para la obtención de los parámetros del apilador se muestra en la *Figura 6*, en este se observa la obtención del estado del equipo conectado en el pin GPIO2. La *Figura 7*, muestra la interfaz de monitoreo resultante del equipo apilador. Para dar en la interfaz gráfica una estructura similar a la jerarquía de equipos basados

en el rol de ISA-95, los nodos suscriptores clientes MQTT transmiten directamente al espacio determinado en la interfaz gráfica.

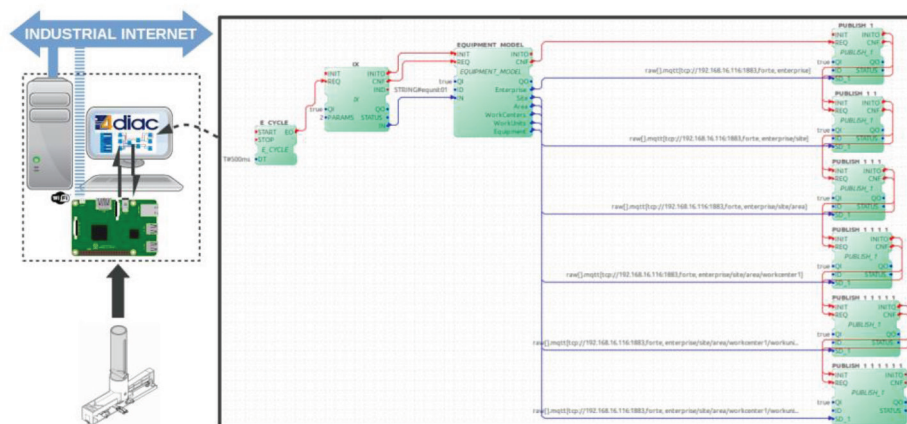


Figura 6 – Flujo de FBs en 4DIAC para adquirir y transmitir los parámetros del equipo apilador.

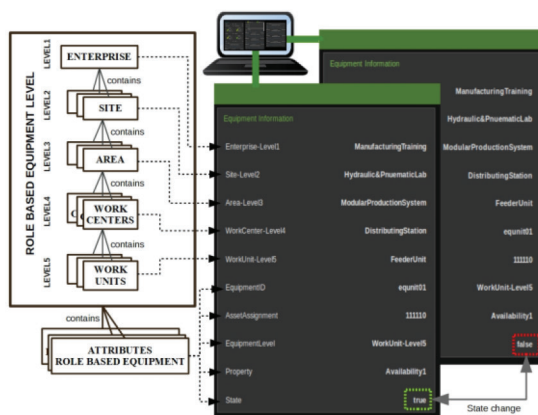


Figura 7 – Estructura de la Interfaz gráfica resultante del sistema de monitoreo para el equipo.

6. Conclusiones y recomendaciones

Se presenta una arquitectura de comunicación que permite adquirir los parámetros de los equipos y activos físicos de campo, de manera ágil, encapsulando la información relevante en tipos de FBs, para luego relacionarla de manera eficiente, debido a la estructura común de los tipos de FBs, e intercambiarla de manera más ligera empleando el protocolo de comunicación MQTT soportado por FORTE, sobre una arquitectura de

tarjetas inteligentes de bajo coste. El enfoque de la arquitectura permite el crecimiento del sistema desde el nivel de planta, para ampliar la capacidad de cobertura del sistema. La infraestructura del sistema de monitoreo admite la integración fiable en el proceso productivo de aplicaciones de niveles superiores consumidores de información masiva pre procesada, empleando comunicaciones OPC-UA.

Se propone un conjunto de FBs, para almacenar los parámetros de equipos y activos físicos, con interfaces bien definidas, con el fin de obtener una mayor flexibilidad en el diseño de futuras aplicaciones del sistema bajo la norma IEC-61499. La flexibilidad, basado en el flujo de información, permite añadir especificaciones de ISA-95 requeridas sin problemas de direccionamiento, siendo compatible con otros productos de ISA-95.

La estructura de información, basado en ISA-95, que se provee desde NodeRED, reduce la carga de datos a un alto rendimiento de arquitecturas de comunicación en entornos IoT. Por lo que, la arquitectura de comunicación que se presenta, mejora la interoperabilidad entre los componentes del sistema de monitoreo, reduciendo esfuerzos en el intercambio de información y habilitando la comunicación a otras aplicaciones de nivel superior como sistemas MES y ERP.

El sistema de monitoreo resultante, sobre la plataforma NodeRED de IoT, presenta una interfaz refinada con información estructurada en categorías, que facilita la supervisión, en tiempo real, de los parámetros de los equipos y activos físicos, de las estaciones de distribución y clasificación de la planta de entrenamiento de FESTO, integrados de forma distribuida, simulando así, un sistema remoto distribuido de plantas de producción, modeladas según el paradigma de industrias 4.0.

Finalmente se logra implementar un sistema de alcance completo, ayudando a introducir nuevos conceptos de integración y compatibilidad entre estándares actualmente en auge dentro del paradigma de Industria 4.0, así como, IEC-61499, ISA-95, OPC-UA, y MQTT. Futuras investigaciones se centrarán en la integración de diferentes protocolos de comunicación, como AMQP y STOMP, con OPC-UA, para una valoración y un análisis de las características y propiedades de la transmisión de información.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización del proyecto “Metodologías para el diseño de Fog Computing y controladores Inteligentes basados en IEC 61499”

Referencias

- Alqinsi, P., Matheus, I., Ismail, N., & Darmalaksana, W. (2018). IoT-Based UPS Monitoring System Using MQTT Protocols. *Proceeding of 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics, ICWT 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICWT.2018.8527815>
- CENELEC, C. (2003). *Function blocks for industrial control systems - Part 1: Architecture (IEC 61499-1:2005)*.

- CENELEC, C. (2014). *IEC 62264-2 (ANSI/ISA-95.00.02 Mod) Enterprise-Control System Integration - Part 2: Object and Attributes for enterprise-control system integration*.
- Fleischmann, H., Kohl, J., Franke, J., Reidt, A., Duchon, M., & Krcmar, H. (2017). Improving maintenance processes with distributed monitoring systems. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, (3), 377–382. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2016.7819189>
- García, M. V, Irisarri, E., & Pérez, F. (2017). Integración Vertical en plantas industriales utilizando OPC UA e IEC-61499 (Vertical Integration in factories using OPC-UA and IEC-61499). *Enfoque UTE*, 1(1), 287–299. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.132>
- Grgić, K., Špeh, I., & Hedi, I. (2016). A web-based IoT solution for monitoring data using MQTT protocol. *Proceedings of 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies, SST 2016*, 249–253. <https://doi.org/10.1109/SST.2016.7765668>
- Harjunkoski, I., Bauer, R., & Suresh, P. (2014). Sharing data for production scheduling using the ISA-95 standard. *Frontiers in Energy Research*, 2(October), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00044>
- Hästbacka, D., Barna, L., Karaila, M., Liang, Y., Tuominen, P., & Kuikka, S. (2014). Device Status Information Service Architecture for Condition Monitoring Using OPC-UA. *ETFA'2014 : 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 1–7.
- Hood, G. W. (2015). Industry Standard Models for design / discussion of Manufacturing Systems . *Australian Control Conference (AUCC)*, 5, 12–15.
- ISA-Sp95, M. (2008). *ISA-95 DRAFT STANDARD Enterprise-Control System Integration Part 1 : Models and Terminology*.
- Ismail, A., & Kastner, W. (2016). Vertical integration in industrial enterprises and distributed middleware. *International Journal of Internet Protocol Technology*, 9(2/3), 79. <https://doi.org/10.1504/IJIPT.2016.079547>
- Janne, H. (2014). *Plant Information Models for Opc Ua: Case Copper Refinery*.
- Keller, M., Rosenberg, M., Brettel, M., & Friederichsen, N. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.213>
- Manandhar, S. (2017). *MQTT based communication in IoT*.
- Mishra, A., Kumari, A., Sajit, P., & Pandey, P. (2018). Remote Web Based ECG Monitoring Using MQTT Protocol For IOT In Healthcare. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5(04), 3–8.
- Ono, T., Ali, S., Hunkar, P., & Brandl, D. (2013). *OPC Unified Architecture for ISA-95 Common Object Model*.

- Saturno, M., Ramos, L., Polato, F., Deschamps, F., & de Freitas, E. (2017). Evaluation of Interoperability between Automation Systems using Multi-criteria Methods. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1837–1845. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.321>
- Trejo-Hernandez, M., & Lopez-Mellado, E. (2013). Specification of manufacturing systems controllers using the standard IEC61499. *23rd International Conference on Electronics, Communications and Computing, CONIELECOMP 2013*, 23, 179–184. <https://doi.org/10.1109/CONIELECOMP.2013.6525782>
- Vyatkin, V. (2011). IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 768–781. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166785>
- Wally, B., Huemer, C., & Mazak, A. (2017). Entwining plant engineering data and ERP information: Vertical integration with AutomationML and ISA-95. *International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2017*, 3, 356–364. <https://doi.org/10.1109/ICCAR.2017.7942718>
- Wenger, M., Zoitl, A., Blech, J. O., Peake, I., & Fernando, L. (2016). Cloud based monitoring of Timed Events for Industrial Automation. *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Systems - ICPADS*, 827–830. <https://doi.org/10.1109/ICPADS.2015.111>
- Zoitl, A., & Lewis, R. (2014). *Modelling Distributed Control Systems Using IEC-61499 (2nd Edition)*.
- Zoitl, A., Strasser, T., & Ebenhofer, G. (2013). Developing modular reusable IEC 61499 control applications with 4DIAC. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 11, 358–363. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2013.6622910>

Caracterización de las prácticas de DevOps en organizaciones que desarrollan software: Un mapeo sistemático de literatura

Jose Daniel Sánchez Castillo¹, Alexandra Martínez¹, Christian Quesada-López¹,
Marcelo Jenkins¹

jose.sanchezcastillo@ucr.ac.cr, alexandra.martinez@ucr.ac.cr,
cristian.quesadalopez@ucr.ac.cr, marcelo.jenkins@ucr.ac.cr

¹ Universidad de Costa Rica, Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, San José, Costa Rica.

Pages: 83–96

Resumen: DevOps es un conjunto de prácticas de ingeniería de *software* que combina los esfuerzos de las áreas de desarrollo y operaciones, con el objetivo de mejorar el tiempo de entrega y la calidad del software. El objetivo de este estudio es caracterizar las prácticas de DevOps utilizadas por organizaciones que desarrollan software. Para ello se realizó un mapeo sistemático de literatura que abarca el periodo 2015-2019. En total se incluyeron y analizaron 42 artículos primarios. Se logró identificar y clasificar un total de 20 prácticas de DevOps, 18 criterios para evaluar las prácticas de DevOps, 16 beneficios y 19 retos asociados a la adopción de DevOps. Los resultados muestran la necesidad de más estudios empíricos en organizaciones, que aborden de forma precisa temáticas como los criterios de evaluación empleados para valorar el funcionamiento de las prácticas DevOps.

Palabras-clave: caracterización; prácticas; organizaciones de desarrollo de software; DevOps; ingeniería de software.

Characterization of DevOps practices in software development organizations: A systematic mapping

Abstract: DevOps is a set of software engineering practices that combine efforts from development and operations areas, with the aim of improving delivery time and software quality. The goal of this study is to characterize DevOps practices used by organizations that develop software. For this, we performed a systematic literature mapping covering the period 2015-2019. In total, 42 primary articles were included and analyzed. We identified and classified a total of 20 DevOps practices, 18 criteria to evaluate DevOps practices, 16 benefits and 19 challenges related to DevOps' adoption. Our results show the need for more empirical studies in organizations, which directly address issues like evaluation criteria to assess the operation of DevOps practices.

Keywords: characterization; practices; software development organizations; DevOps; software engineering.

1. Introducción

Los equipos de desarrollo de software a menudo buscan la mejor manera de avanzar con los objetivos de la organización y mantener una buena relación con sus usuarios. No solamente se preocupan por realizar las implementaciones de las características de los usuarios, sino que también buscan asegurar un flujo de trabajo frecuente y sin problemas (Kim, Debois, Willis, Humble & Allspaw, 2016).

DevOps combina las áreas de desarrollo y operaciones, proponiendo prácticas que ayudan a mejorar el proceso de entrega del software, reduciendo el tiempo de ciclo de desarrollo y entrega (Hüttermann, 2012). El enfoque de DevOps está centrado en la entrega del producto y el proceso de desarrollo, poniendo la gestión de los sistemas como un proceso de soporte para ello (Filipova & Vilão, 2018).

DevOps ha crecido en torno al movimiento ágil, y comparte muchos de sus principios, pero no son lo mismo. Los esfuerzos ágiles a menudo terminan en la fase de transición del desarrollo a las operaciones, sin embargo, DevOps trata de cubrir la entrega del software (envío del software a producción y su puesta en producción para los usuarios finales) (Hüttermann, 2012). DevOps integra prácticas que ayuden a disminuir el tiempo entre un cambio realizado en el sistema y la transferencia de ese cambio al ambiente de producción (Sánchez-Gordón & Colomo-Palacios, 2018).

Este estudio tiene como objetivo caracterizar las prácticas de DevOps utilizadas por las organizaciones que desarrollan software, los criterios empleados para evaluar su funcionamiento, así como los retos y beneficios asociados a su adopción en las organizaciones. Para lograr este objetivo, se realizó un mapeo sistemático de literatura, en el cual se analizaron 42 artículos publicados entre los años 2015 y 2019.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 explica los conceptos necesarios para entender DevOps, la Sección 3 presenta trabajos relacionados en el área, la Sección 4 describe la metodología empleada para el mapeo sistemático, la Sección 5 muestra los resultados obtenidos, la Sección 6 discute los resultados, y la Sección 7 presenta las conclusiones.

2. Marco teórico

DevOps comenzó con una charla impartida por John Allspaw y Paul Hammond en la conferencia *O'Reilly Velocity* en el 2009 (Hüttermann, 2012). En esta charla los expositores se refirieron a la colaboración entre los desarrolladores y el personal de operaciones en Flickr. El término DevOps fue usado por primera vez en el evento *DevOpsDays* en Bélgica, el cual fue organizado por Patrick Debois. Desde ese momento, el término se empezó a utilizar en algunas empresas, pero su verdadero crecimiento despegó en el año 2012, cuando IBM liberó su primer ensayo de entrega continua *SmartCloud Continuous Delivery* (Hüttermann, 2012). Otro hito importante ocurrió en el 2013, con la publicación del libro *The Phoenix Project*, de Gene Kim, el cual trata sobre la necesidad de aumentar la velocidad de los proyectos para generar valor (Kim, Behr & Spafford, 2014).

Para Hüttermann (2012), el término DevOps hace referencia a una combinación de desarrollo (que representa a programadores, evaluadores y personal de control) y operaciones (que representa a administradores de sistemas, administradores de bases de datos y técnicos de redes). Por su parte, Bass, Weber y Zhu (2015) definen DevOps como las prácticas que reducen el tiempo entre la realización de un cambio en el código y su aplicación en el entorno de producción. Fitzgerald y Stol (2017) lo definen como la alineación del desarrollo de software con el despliegue del software en producción. Dyck, Penners y Lichter (2015) proponen que DevOps puede considerarse un enfoque organizacional que busca la buena comunicación y empatía entre los equipos.

En la actualidad se han reportado múltiples prácticas de DevOps que las organizaciones de desarrollo de software adoptan. Sharma (2017) propone una lista de prácticas y las clasifica en dos categorías: esenciales y capacidades de soporte (o extensiones). Las prácticas esenciales son aquellas consideradas como necesarias para la adopción de DevOps y se enfocan en minimizar el tiempo de ciclo. Estas incluyen la integración y la entrega continuas. Por otro lado, las prácticas de soporte permiten habilitar y mantener las prácticas esenciales. Esta categoría incluye prácticas como la configuración de infraestructura como código, retroalimentación continua, planeamiento continuo, desarrollo colaborativo y priorización de tareas (*shift-left*).

3. Trabajo relacionado

En esta sección presentamos trabajos relacionados que abordan la temática de DevOps en organizaciones de desarrollo de software, los cuales incluyen mapeos y revisiones sistemáticas de literatura.

Erich, Amrit y Daneva (2014) realizaron una revisión de literatura con 25 artículos, donde concluyeron que las organizaciones debían cambiar su estructura para soportar DevOps. Jabbari, bin Ali, Petersen y Tanveer (2016) condujeron una revisión sistemática de literatura donde analizaron las prácticas, beneficios y retos de DevOps, llegando a la conclusión de que existían inconsistencias en la definición de DevOps. Los mismos autores hicieron una actualización de su estudio secundario, donde incluyeron un análisis de dependencias entre las prácticas de DevOps (Jabbari, bin Ali, Petersen y Tanveer, 2018). En dicha actualización, se concluye que son necesarios más estudios que realicen una validación empírica del uso de DevOps.

Ghantous y Gill (2017) estudiaron las prácticas de DevOps mediante una revisión de literatura orientada a herramientas, beneficios y retos. Ellos concluyeron que las organizaciones muestran un interés significativo en DevOps, pero que no tienen claridad y comprensión de los conceptos, prácticas, herramientas, beneficios y desafíos subyacentes de DevOps. Guerrero, Certuche, Zúñiga y Pardo (2019) realizaron un estudio donde analizaron el conocimiento actual sobre DevOps en empresas de desarrollo de software. Los autores concluyeron que DevOps es un campo reciente y que es necesario elaborar una guía que facilite su comprensión. Por su parte, Lwakatare et al. (2016) analizaron la relación entre DevOps y el movimiento ágil mediante una revisión de literatura. Ellos concluyeron que DevOps puede considerarse una evolución del movimiento ágil, e indicaron que eran necesarios más estudios empíricos con evidencia en contextos reales.

La mayoría de los estudios concuerdan en que se requiere más investigación en el campo de DevOps, y que son necesarios estudios empíricos que reporten la experiencia real de las organizaciones implementando DevOps. Este estudio busca realizar una actualización respecto a estudios anteriores en el área de prácticas, beneficios y retos de DevOps. Además, nuestro estudio analiza los criterios usados por las organizaciones para evaluar el funcionamiento de las prácticas de DevOps, lo cual no había sido abordado previamente. Por ende, creemos que este estudio contribuye a ampliar la evidencia existente de estudios empíricos en el área, y ofrece información a las organizaciones que les puede servir para tomar decisiones informadas sobre la adopción de las prácticas de DevOps en contextos particulares.

4. Metodología

Para realizar el mapeo sistemático de la literatura, se utilizaron los lineamientos establecidos por Petersen, Vakkalanka & Kuzniarz (2015). El objetivo de este estudio, formulado con el modelo GQM (Basili, Caldiera & Rombach, 1994), fue *analizar* las prácticas de DevOps *con el propósito* de caracterizarlas *con respecto a sus métricas* de evaluación, retos y beneficios de su adopción *desde el punto de vista del investigador, en el contexto* de organizaciones que desarrollan software. Para guiar este estudio, se definieron las siguientes preguntas de investigación:

- **RQ1.** ¿Cuáles prácticas de DevOps se han utilizado en el contexto de organizaciones que desarrollan software?
- **RQ2.** ¿Cuáles criterios se han utilizado para evaluar el funcionamiento de las prácticas de DevOps en el contexto de organizaciones que desarrollan software?
- **RQ3.** ¿Cuáles han sido los beneficios reportados de la adopción de las prácticas de DevOps en organizaciones que desarrollan software?
- **RQ4.** ¿Cuáles han sido los retos reportados de la adopción de las prácticas de DevOps en organizaciones que desarrollan software?

4.1. Estrategia de búsqueda y proceso de selección de estudios

Primeramente, se realizó una búsqueda exploratoria para identificar estudios relevantes, que fueron usados como artículos de control. Los artículos de control identificados fueron los siguientes: Perera, Bandara & Perera (2016), Riungu-Kalliosaari, Mäkinen, Lwakatare, Tiihonen & Männistö (2016), y Senapathi, Buchan & Osman (2018). A partir del objetivo planteado, las preguntas de investigación, y los términos clave extraídos del título y del resumen de los artículos de control, se construyó la versión inicial de la cadena de búsqueda. También se utilizó el modelo PICO (Población, Intervención, Comparación, Salidas) en el proceso de construcción de la cadena de búsqueda. La cadena final, que se muestra a continuación, fue producto de un proceso de refinamiento que incluyó varias pruebas piloto para reducir el ruido.

(“software organization” OR “software develop*” OR “industr*”) AND
 (“DevOps”) AND (“practices*” OR “evaluation*” OR “challeng*” OR “benefit”*)

Las búsquedas automatizadas se realizaron en las bases de datos SCOPUS, IEEE Xplore, Springer, y Web of Science. Se buscaron los términos de la cadena contra el título, el

resumen o las palabras clave de los artículos. El protocolo base del mapeo se desarrolló de marzo a mayo del 2019, la búsqueda automatizada se realizó en junio del 2019, y los estudios se analizaron entre junio y setiembre del 2019.

El número de estudios recuperado para cada base de datos fue: 178 en *Scopus*, 128 en *IEEE Xplore*, 197 en *Springer* y 37 en *Web of Science*. Los artículos fueron tabulados en MS Excel para los procesos de selección, evaluación y extracción de datos. Se eliminaron los duplicados, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión (I/E) y finalmente se hizo la extracción y el análisis de los resultados. Tras la eliminación de duplicados, se obtuvo un conjunto de 443 estudios. El proceso de I/E se hizo con base en el título y el resumen de los artículos (cuando hubo duda, se hizo lectura completa del artículo). Se excluyeron publicaciones que cumplieran con la fórmula (E1 OR E2) y se incluyeron los que cumplieran con la fórmula (I1 AND I2 AND I3), según los criterios de la Tabla 1.

Criterios de Inclusión	Criterios exclusión
I1: Estudios en idioma inglés.	E1: Estudios que no estén disponibles en texto completo.
I2: Estudios que incluyan prácticas de DevOps en el contexto de organizaciones que desarrollan software.	E2: Estudios terciarios y secundarios.
I3: Estudios del área de Ingeniería del Software.	

Tabla 1 – Criterios de inclusión y exclusión.

A partir de la estrategia de búsqueda y el proceso de selección, se obtuvo un total de 45 artículos, como se ilustra en la Figura 1. Cabe destacar que solamente un artículo (Bruza & Reith, 2018) que pudo ser incluido fue descartado por no estar disponible en texto completo.

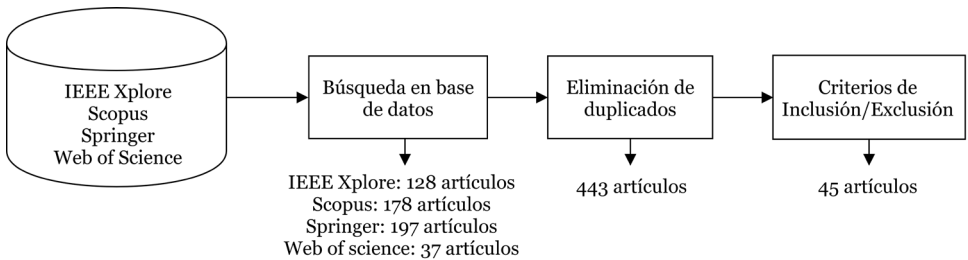


Figura 1 – Proceso de selección de estudios.

La lista completa de los estudios incluidos y analizados puede consultarse en el enlace: <https://tinyurl.com/y3ef5dxj>.

4.2. Evaluación de calidad

La evaluación de la calidad de los estudios se realizó para determinar el nivel de detalle ofrecido sobre los aspectos de interés del análisis y basado en las preguntas de

investigación. Los criterios de calidad establecidos para la evaluación de los artículos fueron los siguientes:

- **Q1:** ¿El artículo describe detalladamente las prácticas de DevOps implementadas dentro de la organización?
- **Q2:** ¿El artículo describe detalladamente criterios para evaluar el funcionamiento de las prácticas de DevOps implementadas dentro de la organización?
- **Q3:** ¿El artículo menciona beneficios obtenidos al implementar prácticas de DevOps en la organización?
- **Q4:** ¿El artículo menciona los retos resultantes de la implementación de prácticas de DevOps en la organización?

La puntuación para cada criterio de calidad se asignó de acuerdo con la escala de 0-2 donde: 0 = No cumple el criterio en lo absoluto, 1 = Parcialmente y 2 = Totalmente. Al aplicar los criterios de calidad, 42 artículos obtuvieron un valor de calidad superior a cero y 3 artículos obtuvieron un valor calidad de cero, ocasionando que fueran descartados. Los valores de calidad obtenidos por los estudios variaron entre 0 y 4, con una mediana de 1 y un promedio de 1,17, lo que indica que los estudios requieren un mayor nivel de detalle. La puntuación obtenida por cada estudio en los criterios de evaluación Q1-Q4 se puede consultar en: <https://tinyurl.com/y3ef5dxj>.

4.3.Extracción y análisis de los datos

Para los 42 artículos incluidos, se extrajeron los elementos listados en la Tabla 2. El formulario de extracción completo está disponible en <https://tinyurl.com/y3ef5dxj>.

Categoría	Elementos de datos
Información básica	Identificador, código de referencia, referencia, año, autores, título
Características del estudio	Contexto en el que se usa, involucrados en la práctica y herramientas asociadas
Tipo de estudio	Encuesta, caso de estudio, experimento y cuasiexperimento
Base de datos	SCOPUS, IEEE Xplore, Springer, Web of Science
Preguntas de investigación	Prácticas de DevOps (RQ1), criterios de evaluación para DevOps (RQ2), beneficios de adoptar DevOps (RQ3) y retos de adoptar DevOps (RQ4)
Criterios de calidad	Puntuación para los criterios de calidad Q1, Q2, Q3, Q4

Tabla 2 – Elementos del formulario de extracción.

4.4.Amenazas a la validez

La cadena de búsqueda utilizada en este estudio fue definida a partir de una búsqueda exploratoria en bases de datos y un conjunto de artículos de control. Las bases de datos seleccionadas son reconocidas por tener una buena cobertura de información en el campo de ingeniería de software. Durante el proceso de inclusión o exclusión, si existían dudas sobre un artículo específico, se procedió a su lectura completa.

Las clasificaciones presentadas en este estudio, así como la interpretación de los resultados, se realizaron usando el criterio experto del investigador, lo cual representa una amenaza a la validez. Además, la aplicación de los criterios de calidad fue realizada

por un solo investigador y supone una amenaza a la validez. Se reportó todo el proceso (protocolo) de forma detallada para facilitar su análisis y utilización en estudios posteriores.

5. Resultados

Los artículos analizados en este estudio se identifican con el código S1 a S42, según se detalla en el enlace: <https://tinyurl.com/y3ef5dxj>. A continuación, se presentan los resultados del mapeo sistemático de literatura correspondientes a cada pregunta de investigación. En particular, se presentan las prácticas de DevOps encontradas, los criterios de evaluación para estas prácticas, y los beneficios y retos de adoptar prácticas de DevOps.

5.1. Prácticas de DevOps reportadas en organizaciones

La Tabla 3 lista las 20 prácticas de DevOps identificadas en los estudios primarios, así como los procesos asociados. Para su categorización utilizamos el estándar ISO 12207-2008, que está dedicado a describir los procesos, actividades y tareas del ciclo de vida del software (Galin, 2017).

De la Tabla 3 se puede observar que las prácticas más reportadas son integración y entrega continua (13 en total), ambas pertenecientes a los procesos de implementación y soporte del software respectivamente. Cabe mencionar que las prácticas asociadas a procesos de soporte son las que más reportan las organizaciones (7 en total).

Proceso	Prácticas	Estudios	Cantidad de estudios
Procesos de proyecto	Planificación de la continuidad del negocio	S1	1
	Manejo de métricas claves de rendimiento	S1, S3	2
	Monitoreo automatizado	S1, S7, S16, S18, S37, S39	6
	Monitoreo continuo	S2, S7, S16, S18, S29, S38	6
	Planificación continua	S13, S18, S38	3
	Retroalimentación continua	S18, S29, S38	3
Procesos técnicos	Participación de interesados	S2	1
	Definición de requisitos o historia de usuario	S2, S17, S19	3
Procesos de implementación del software	Integración continua	S1, S2, S6, S7, S8, S9, S15, S18, S21, S22, S23, S36, S38	13
	Pruebas automatizadas	S1, S2, S8, S12, S18, S23, S26, S30, S39, S42	10
	Priorización de tareas o pruebas (<i>Shift-Left</i>)	S10	1
	Pruebas continuas	S18, S24, S38	3

Proceso	Prácticas	Estudios	Cantidad de estudios
Procesos de soporte del software	Despliegue automatizado	S1, S2, S5, S6, S10, S12, S13, S14, S18, S22, S23	11
	Infraestructura como código	S1, S2, S13, S16, S18, S22, S41	7
	Replicación del entorno de producción	S1, S2, S16, S25	4
	Despliegue continuo	S1, S6, S7, S8, S9, S15, S16, S18, S22, S32	10
	Entrega continua	S2, S8, S9, S18, S20, S21, S22, S23, S25, S26, S28, S38, S41	13
	Desarrollo colaborativo	S18	1
	Automatización de licencias de software	S39	1
	Automatización de revisión de código	S39	1

Tabla 3 – Prácticas de DevOps identificadas en los estudios, y procesos asociados.

En la Figura 2 se muestran las prácticas de DevOps utilizadas por las organizaciones a través del tiempo, categorizadas según los procesos del ciclo de vida del software.

De la Figura 2 se puede observar que las prácticas asociadas a procesos de soporte del software han tenido un mayor crecimiento en los últimos dos años, en comparación con prácticas de otros procesos. También observamos que las prácticas relacionadas con procesos técnicos apenas han empezado a reportarse recientemente, y en poca cantidad.

5.2. Criterios de evaluación para las prácticas de DevOps

Únicamente 9 estudios abordan el tema de criterios de evaluación para las prácticas de DevOps (S1, S12, S15, S24, S26, S27, S29, S30, y S38). Los criterios identificados para evaluar el funcionamiento de las prácticas de DevOps en las organizaciones se muestran en la Tabla 4.

Estos criterios fueron clasificados según el objeto de medición: dinero, cantidad, tiempo u otro. Aquellos estudios cuyos criterios no se pudieron categorizar a un objeto de medición, se colocaron en la categoría “otros”. Los criterios más reportados fueron los que miden el tiempo (6 en total) y los que miden “otros” objetos (6 también).

Objeto de medición	Criterios de evaluación de las prácticas de DevOps	Cantidad de estudios
Tiempo	Tiempo transcurrido entre la implementación en diferentes entornos (S12). Tiempo de cola para compilaciones/lanzamientos (S15). Tiempo de comercialización de nuevas funciones (S30). Tiempo de ejecución (S24). Tiempo transcurrido entre el inicio de una idea y su disponibilidad como un servicio para los clientes (S26). Tiempo de implementación y frecuencia (S30). Tiempo medio para recuperación (S30). Tiempo de entrega (S38).	6

Objeto de medición	Criterios de evaluación de las prácticas de DevOps	Cantidad de estudios
Cantidad	Número máximo de despliegues diarios y semanales (S1). Número de problemas que se planearon solucionar en una iteración (S26).	2
Dinero	Gastos económicos (S30)	1
Otros	Experiencia real en la adopción de DevOps mediante grupos focales (S1). Efectividad respecto a la detección de fallas (S24). Calidad del software (S27). Capacidad de respuesta a las necesidades empresariales (S27). Previsibilidad (S38). Nivel de madurez (S29). Productividad del desarrollador (S30).	6

Tabla 4 – Criterios identificados para evaluar el funcionamiento de las prácticas de DevOps, agrupados por objeto de medición.

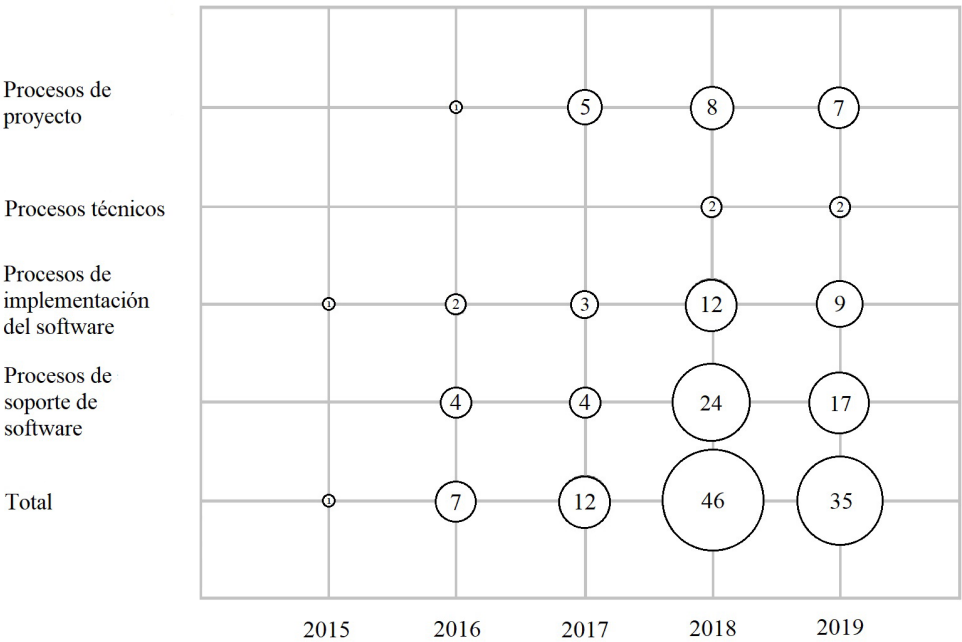


Figura 2 – Prácticas de DevOps en el tiempo, agrupadas por proceso.

5.3. Beneficios de adoptar las prácticas de DevOps

Producto de la adopción de las prácticas de DevOps, las organizaciones han identificado un total de 17 beneficios. La Tabla 5 lista los beneficios reportados por dos o más estudios.

Beneficio de DevOps	Estudios	Cantidad
Mejora en la calidad del software	S2, S11, S26, S34	4
Colaboración y comunicación mejoradas	S18, S34, S35	3
Mejoras los costos	S11, S19, S22	3
Mejora de la productividad del trabajo de operaciones	S2, S22	2
Mejora el tiempo de comercialización	S11, S26	2
Incremento en la frecuencia de despliegue	S18, S22	2
Mejora respuesta ante situaciones	S11, S22	2

Tabla 5 – Beneficios reportados por las organizaciones al adoptar prácticas de DevOps.

Los siguientes beneficios fueron reportados solo por un estudio: mejora la velocidad de entrega de cambios de software (S2), mejora en la cultura organizacional y mentalidad (S2), mejora la calidad de equipos (S11), enfoque de negocios amigables (S11), mejora la retroalimentación del cliente (S22), mayor cantidad de características implementadas y lanzamientos frecuentes (S34), maximización de capacidades (S34), visibilidad mejorada de las características implementadas para el cliente (S34), pruebas con clientes reales (S34) y generación un ambiente de bienestar en los equipos (S34). La mejora en la calidad del software se posiciona como el principal beneficio reportado. Es interesante observar que tres de los beneficios reportados están enfocados al cliente, lo que deja ver que DevOps no solo está ayudando a lo interno de las organizaciones sino también a sus clientes.

5.4. Retos de adoptar las prácticas de DevOps

Un total de 19 retos fueron identificados, producto de la adopción de las prácticas de DevOps en las organizaciones La Tabla 6 muestra los retos que fueron reportados en dos o más estudios. La organización y cultura de los empleados figura como el principal desafío para la adopción de DevOps, es decir, el principal reto actualmente es el factor humano.

Los retos reportados por un solo estudio son: comprensión interna de DevOps (S1), seguridad de la información (S1), problemas regulatorios en organizaciones (S1), distancia física de los equipos (S1), equilibrio entre velocidad y calidad (S2), calidad de las pruebas (S3), múltiples definiciones para el término DevOps (S31), comunicación insuficiente (S34), restricciones de la industria (S34), ambientes heterogéneos (S34), evolución acelerada de DevOps (S34) y configuración de la infraestructura (S36).

Fue interesante encontrar que la recolección de métricas en aplicaciones y la dificultad de monitoreo destacaran como retos, pues en la sección 5.3 vimos que hay pocos estudios (9 en total) que abordan criterios de evaluación, lo cual es consecuente con que las organizaciones reporten la recolección de métricas (y su monitoreo) como un reto.

Retos de DevOps	Estudios	Cantidad
Organización y cultura de los empleados	S22, S27, S32, S33, S34, S35, S40	7
Altas habilidades y demandas de conocimiento	S2, S4, S6, S26, S32	5
Tensión entre equipos de software y operaciones	S3, S26, S32, S35	4
Recolección de métricas en aplicaciones	S1, S7, S26	3
Insuficiencias en la automatización de la infraestructura	S2, S40	2
Limitaciones de recursos en proyectos	S2, S26	2
Dificultades en el monitoreo	S2, S33	2

Tabla 6 – Retos reportados por las organizaciones al adoptar DevOps.

6. Discusión

DevOps es una metodología relativamente nueva, sin embargo, sus prácticas sí están siendo utilizadas por las organizaciones. La entrega e integración continua son las prácticas más comunes y forman parte de los procesos implementación y de soporte del software, respectivamente. Los resultados muestran que las prácticas relacionadas a los procesos de soporte del software están teniendo un crecimiento acelerado en los últimos años.

Respecto a los criterios de evaluación, se observó que aún no hay consenso en las organizaciones respecto a cómo medir el funcionamiento de las prácticas de DevOps. Adicionalmente, los resultados dejaron en evidencia la poca información que aún se tiene sobre este tema, ya que solamente 9 estudios reportaron criterios. Aun así, se observó que el criterio más importante para las organizaciones es el tiempo. Uno de los principios de DevOps es la reducción del tiempo, sin embargo, la reducción del tiempo podría ocasionar el sacrificio de la calidad del software. El beneficio más común reportado por las empresas es la mejora en la calidad del software, por lo que parece que las empresas han logrado un equilibrio entre tiempo y calidad.

Las capacidades de los colaboradores son el reto más importante que debe enfrentar DevOps, según las organizaciones. La organización y cultura de los empleados, junto con el nivel de conocimiento y habilidades que poseen, son los retos más comunes. Por ello, el trabajo DevOps debería enfocarse en que los equipos sean capacitados de la mejor forma posible, ya que esto podría ayudar a solucionar otros retos como la cultura organizacional y la falta de capacidades técnicas del personal.

7. Conclusiones

Este estudio reporta los resultados de un mapeo sistemático de literatura sobre prácticas de DevOps, que analiza 42 artículos primarios publicados entre los años 2015 y 2019. El objetivo del estudio fue mostrar el estado de las prácticas de DevOps en el contexto de organizaciones que desarrollan software, considerando criterios de evaluación, beneficios y retos. Un total de 20 prácticas, 18 criterios de evaluación, 16 beneficios y 19 retos fueron identificados y clasificados.

Encontramos que existen pocos estudios que aborden el tema de los criterios de evaluación para las prácticas de DevOps. Respecto a los beneficios de adoptar prácticas de DevOps, se identificó que las organizaciones han logrado aumentar la calidad del software que producen. Sin embargo, el principal reto que enfrenta la adopción de DevOps es el factor humano.

Uno de los principales hallazgos es que las prácticas de soporte son las que tienen mayor tendencia de uso en las organizaciones, posiblemente porque el área de operación tiene una mayor carga de trabajo. Otro hallazgo importante es que las organizaciones reportan el aumento en la calidad del software como el principal beneficio de DevOps. Esto es interesante considerando que DevOps se enfoca en reducir tiempos, por lo que se podría suponer que las organizaciones han logrado un balance entre reducción de tiempo y calidad de software.

Como trabajo futuro, se plantea realizar una encuesta a organizaciones que desarrollan software a nivel nacional, con el fin de comparar los resultados arrojados por este mapeo de literatura contra el estado de las prácticas de DevOps en el contexto nacional. Esto ayudaría a identificar tendencias locales, posibles necesidades de capacitación en DevOps, y oportunidades de mejora relacionadas con las prácticas de DevOps y su impacto en las organizaciones. Otra posible línea de investigación futura es el mapeo de herramientas de apoyo a las prácticas de DevOps, aspecto que no fue abordado en esta investigación.

Referencias

- Basili, V. R., Caldiera, G. & Rombach, D. H. (1994). The Goal Question Metric Approach. En *Encyclopedia of Software Engineering*.
- Bass, L., Weber, I. & Zhu, L. (2015). *DevOps: a software architect's perspective*. Old Tappan, NJ: Addison-Wesley.
- Bruza, M., & Reith, M. (2018). Teaming with silicon valley to enable multi-domain command and control. En *Proceedings of the 13th International Conference on Cyber Warfare and Security, ICCWS 2018, 2018-March 663-667*. Recuperado desde www.scopus.com
- Dyck, A., Penners, R., & Lichter, H. (2015). Towards Definitions for Release Engineering and DevOps. En *2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Release Engineering*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/releng.2015.10>
- Erich, F., Amrit, C., & Daneva, M. (2014). Cooperation between information system development and operations. En *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement - ESEM '14*. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2652524.2652598>
- Filipova, O. & Vilão, R. (2018). *Software development from A to Z : a deep dive into all the roles involved in the creation of software*. New York: Apress.
- Fitzgerald, B., & Stol, K.-J. (2017). Continuous software engineering: A roadmap and agenda. *Journal of Systems and Software*, 123, 176-189. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.06.063>

- Galin, D. (2017). *Software quality: concepts and practice*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, IEEE Press.
- Ghantous, G. & Gill, A. (2017). DevOps: Concepts, Practices, Tools, Benefits and Challenges. PACIS 2017 Proceedings. Recuperado desde <http://aisel.aisnet.org/pacis2017/96>
- Guerrero, J., Certuche, C., Zúñiga, K., & Pardo, C. (2019). What is there about DevOps? Preliminary Findings from a Systematic Mapping Study. XIV Jornadas Iberoamericanas De Ingenieria De Software e Ingenieria Del Conocimiento.
- Hüttermann, M. (2012). *DevOps for developers*. Berkeley, CA: Apress.
- Jabbari, R., bin Ali, N., Petersen, K., & Tanveer, B. (2016). What is DevOps? En Proceedings of the Scientific Workshop Proceedings of XP2016 on - XP '16 Workshops. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2962695.2962707>
- Jabbari, R., bin Ali, N., Petersen, K., & Tanveer, B. (2018). Towards a benefits dependency network for DevOps based on a systematic literature review. *Journal of Software: Evolution and Process*, 30(11), e1957. <https://doi.org/10.1002/smr.1957>
- Kim, G., Behr, K. & Spafford, G. (2014). *The Phoenix project: a novel about IT, DevOps, and helping your business win*. Portland, Oregon: IT Revolution Press.
- Kim, G., Debois, P., Willis, J., Humble, J. & Allspaw, J. (2016). *The DevOps handbook: how to create world-class agility, reliability, & security in technology organizations*. Portland, OR: IT Revolution Press, LLC.
- Lwakatare, L. E., Karvonen, T., Sauvola, T., Kuvaja, P., Olsson, H. H., Bosch, J., & Oivo, M. (2016). Towards DevOps in the Embedded Systems Domain: Why is It So Hard? En 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE. <https://doi.org/10.1109/hicss.2016.671>
- Perera, P., Bandara, M., & Perera, I. (2016). Evaluating the impact of DevOps practice in Sri Lankan software development organizations. En 2016 Sixteenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ictcr.2016.7829932>
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Riungu-Kalliosaari, L., Mäkinen, S., Lwakatare, L. E., Tiihonen, J., & Männistö, T. (2016). DevOps Adoption Benefits and Challenges in Practice: A Case Study. En *Product-Focused Software Process Improvement* (pp. 590–597). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49094-6_44
- Sánchez-Gordón, M., & Colomo-Palacios, R. (2018). Characterizing DevOps Culture: A Systematic Literature Review. En *Communications in Computer and Information Science* (pp. 3–15). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00623-5_1

- Senapathi, M., Buchan, J., & Osman, H. (2018). DevOps Capabilities, Practices, and Challenges. En Proceedings of the 22nd International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering 2018 - EASE'18. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3210459.3210465>
- Sharma, S. (2017). *The DevOps adoption playbook: a guide to adopting DevOps in a multi-speed IT enterprise*. Indianapolis, IN: Wiley.

Uso de técnicas de minería de datos y aprendizaje automático para la detección de fraudes en estados financieros: un mapeo sistemático de literatura

Alex Ramírez-Alpízar, Marcelo Jenkins, Alexandra Martínez, Christian Quesada-López

alex.ramirez@ucr.ac.cr, marcelo.jenkins@ucr.ac.cr, alexandra.martinez@ucr.ac.cr, cristian.quesadalopez@ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.

Pages: 97–109

Resumen: La detección de fraudes en estados financieros es una tarea constante y laboriosa en el área de la auditoría. Tradicionalmente, esta tarea ha sido realizada por expertos, limitando su alcance por restricciones en la capacidad de procesamiento manual. En los últimos años se ha incrementado el uso de técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático para revisar de forma exhaustiva y automatizada los estados financieros de las organizaciones. El objetivo de esta investigación fue analizar técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático utilizadas en la detección de fraudes financieros, con el fin de caracterizar los algoritmos reportados y las métricas usadas para evaluar su efectividad. Para ello se realizó un mapeo sistemático de literatura que identificó 67 artículos. Los resultados indican que desde el 2015 hubo un repunte en la cantidad de investigaciones que utilizan estas técnicas para la detección de fraude en estados financieros, donde las máquinas de soporte vectorial son la técnica más utilizada, con 19 estudios, seguida por las redes neuronales artificiales, con 15 reportes, y los árboles de decisión, con 11 reportes. La efectividad fue evaluada a partir del grado de exactitud con que las técnicas implementadas detectaban casos reales de fraude, obteniendo resultados de entre 70% y 99.9%.

Palabras-clave: Detección de fraude; aprendizaje automático; minería de datos; estados financieros, auditoría.

Use of data mining and machine learning techniques for fraud detection in financial statements: a systematic mapping study

Abstract: Fraud detection in financial statements is a constant and laborious task in the audit area. Traditionally, this task has been performed by experts, limiting its scope due to restrictions in manual processing capacity. In recent years, there has been an increase in the use of data mining and machine learning techniques to review in a comprehensive and automated way the organizations' financial statements. The objective of this study was to analyze data mining and machine learning techniques used in financial fraud detection, in order to characterize the

reported algorithms and the metrics used to evaluate their effectiveness. For this, a systematic mapping study of 67 studies was carried out. Our results show that since 2015 there was an upturn in the amount of studies that use these techniques for fraud detection in financial statements, where vector support machines are the most used technique, with 19 studies, followed by artificial neural networks, with 15 studies, and decision trees, with 11 studies. Effectiveness was assessed by the degree of precision with which the implemented techniques detected real fraud cases, obtaining values between 70% and 99.9%.

Keywords: Fraud detection; machine learning; data mining; financial statements; audit.

1. Introducción

La detección de fraudes en estados financieros es una tarea recurrente y una necesidad, tanto para organizaciones públicas como para empresas privadas. Las técnicas convencionales de auditoría financiera se utilizan como un medio para determinar la salud financiera y las perspectivas a futuro de la organización (Ngai y cols., 2011).

La revisión de estados financieros es vital para prevenir las consecuencias generalmente devastadoras de los fraudes. Esto implica distinguir datos fraudulentos de datos auténticos, revelando así actividades o comportamientos anómalos, con la finalidad de permitir a los tomadores de decisiones desarrollar, tan pronto como sea posible, estrategias que disminuyan el impacto del fraude (Ngai y cols., 2011).

No obstante, la capacidad de procesamiento de expertos humanos es limitada, y la cantidad de información generada cada vez es mayor, por lo que se hace necesario recurrir a la tecnología para procesar grandes volúmenes de datos, de manera que se puedan detectar patrones que posiblemente resultarían imperceptibles para un ser humano (Shalev-Shwartz, 2014).

La presente investigación tiene por objetivo analizar las técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, con respecto a sus algoritmos y su efectividad, en el contexto de detección de fraudes en estados financieros. Se realizó un mapeo sistemático de literatura para identificar la evidencia existente sobre la aplicación de estas técnicas y su efectividad obtenida. Para llevar a cabo el estudio se establecieron las siguientes preguntas de investigación:

RQ1. ¿Qué técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático se han utilizado en la detección de fraudes en estados financieros?

RQ2. ¿Cómo ha sido evaluada la efectividad de las técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático utilizadas en la detección de fraudes en estados financieros?

Este resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta el marco teórico, la sección 3 describe trabajos relacionados, la sección 4 explica la metodología utilizada, la sección 5 muestra los resultados obtenidos, la sección 6 discuten dichos resultados y, la sección 7 presenta las conclusiones.

2. Marco teórico

Los fraudes financieros se han clasificado comúnmente en tres grandes categorías: fraude bancario, fraude corporativo, y fraude de seguros (West y cols., 2015). Cada una de estas categorías se subdivide, a su vez, en distintos tipos. Los tipos de fraude bancario son: fraude con tarjetas de crédito, fraude hipotecario, y lavado de dinero. Los tipos de fraude corporativo incluyen fraude en estados financieros, y fraude en valores y materias primas. Finalmente, entre los tipos de fraude de seguros están: el fraude en seguros de automóviles, y el fraude en seguros de salud (West y cols., 2015).

El concepto “fraude en estados financieros” agrupa una serie de comportamientos en los cuales los participantes de un mercado financiero hacen declaraciones falsas sobre la verdadera naturaleza o la salud financiera de una compañía, un fondo o un producto de inversión (Reurink, 2016). Esta modalidad de fraude es típicamente cometida por una de estas razones: para encubrir una mala aplicación de fondos, para inducir a los inversores en un error, o para engañar a los reguladores sobre la rentabilidad de la organización (Reurink, 2016).

De acuerdo con la *Association of Certified Fraud Examiners* (2018), el fraude en estados financieros, si bien es el menos común, es también el más costoso para las organizaciones: en 2018, de un total de 2690 casos de fraude financiero en 125 países, representó el 10% de los casos, y una pérdida promedio por caso de 80,000 dólares, mientras que la apropiación indebida de activos representó el 89% de los casos y una pérdida promedio de 114,000 dólares.

El concepto “aprendizaje automático” se refiere a la detección automática de patrones significativos en los datos, y se ha vuelto una herramienta común en casi cualquier tarea que requiera la extracción de información a partir de grandes volúmenes de datos (Shalev-Shwartz, 2014). Los algoritmos de aprendizaje automático han resultado exitosos en una amplia gama de tareas y dominios, incluyendo la visión por computadora, el reconocimiento de voz, la clasificación documental, la conducción automática y el soporte en la toma de decisiones (Blum y cols., 2015). Las aplicaciones de aprendizaje automático permiten un análisis completo de toda la información disponible (en lugar de solo muestras), así como la detección de patrones que pueden resultar imperceptibles para el humano (Shalev-Shwartz, 2014).

Existen diversas técnicas de minería y aprendizaje, entre las cuales están: regresión (regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, regresión polinomial), clasificación (K vecinos más cercanos KNN, máquinas de soporte vectorial SVM, *Kernel SVM*, *Naïve Bayes*, árboles de decisión DT-, árboles aleatorios -RF-), agrupamiento (*K-means*, agrupamiento jerárquico), reducción de la dimensionalidad (análisis de componentes principales PCA, análisis de discriminante lineal LDA, *Kernel PCA*), redes neuronales (redes neuronales artificiales ANN, redes neuronales convolucionales), aprendizaje profundo (*deep learning*) y aprendizaje por refuerzo (Shalev-Shwartz, 2014; Blum y cols., 2015.), entre otras.GG

Además de conocer las técnicas usadas para la detección de fraudes en estados financieros, la presente investigación se avocó a determinar las métricas con las que se evalúa la efectividad de dichas técnicas, desde la perspectiva de su eficiencia y eficacia. La eficiencia de un algoritmo suele medirse en términos de su rendimiento o comportamiento, lo cual se centra principalmente en su simplicidad y el uso óptimo de los recursos. Esto último suele evaluarse con base en dos parámetros: el espacio, es decir, la memoria que utiliza, y el tiempo, que corresponde a lo que tarda el algoritmo en ejecutarse. Esos parámetros permiten comparar algoritmos entre sí, para determinar el más adecuado entre varios que solucionan un mismo problema (Guerequeta y Vallecillo, 2000). La eficacia determina qué tan cercana es la respuesta que da un algoritmo a la respuesta correcta u óptima (Shalev-Shwartz, 2014).

3. Trabajo relacionado

En esta sección se presentan estudios secundarios que realizan investigaciones sobre las técnicas de minería de datos y aprendizaje automático para la detección de fraudes financieros. Albashrawi (2016) llevó a cabo una revisión de literatura entre 2004 y 2015 sobre técnicas de minería de datos para la detección de fraudes financieros. Encontró que la regresión logística, DT, SVM, ANN y las redes bayesianas han sido ampliamente utilizados, aunque no siempre están asociados a los mejores resultados. Analizó 65 artículos relevantes y abarcó diversas formas de fraude financiero, por ejemplo, con tarjetas de crédito, con seguros de automóviles y de salud; en lo concerniente a fraudes en estados financieros, obtuvo 21 artículos. En términos de detección de fraudes en general -no solo de estados financieros-, encontró que el algoritmo más utilizado fue la regresión logística, con 13%, seguido por ANN y DT, con 11% cada uno, y SVM, con 9%.

Duhart y Hernández (2016) hicieron una revisión de literatura de los principales indicadores y algoritmos de minería de datos utilizados para la detección de fraudes. Entre los algoritmos referidos están SVM, ANN, las redes neuronales probabilísticas y K-vecinos más cercanos. Los autores compararon la exactitud de las clasificaciones obtenidas por los algoritmos. Las redes bayesianas ocuparon el primer lugar, con 90.3%, seguidas por ANN, con 80%, y DT, con 73.6%.

Ngai y cols. (2011) realizaron una revisión de literatura sobre la aplicación de técnicas de minería de datos para la detección de fraudes financieros, de 1997 a 2008. Analizaron 49 artículos y crearon una clasificación de tipos de fraude. El fraude en estados financieros fue clasificado dentro de la categoría “Otros fraudes financieros relacionados”, junto con los fraudes de mercadeo masivo.

Como aporte, la presente investigación se centra específicamente en el análisis de las técnicas para la detección de fraudes en estados financieros, y se analizan un total de 67 artículos del 2007 a 2019. Adicionalmente, se indaga sobre las métricas con las que se mide la efectividad de los algoritmos y sus resultados.

4. Metodología

En esta sección se describen brevemente los pasos del proceso de mapeo realizado, de acuerdo con los lineamientos de Petersen y cols. (2015) y las recomendaciones de

Kitchenham (2007). El objetivo del estudio, formulado con el modelo GQM (Basili y cols., 1994), fue analizar técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, con el propósito de caracterizarlas con respecto a sus algoritmos, su eficiencia y efectividad, desde el punto de vista de los investigadores, en el contexto de detección de fraudes en estados financieros.

4.1. Estrategia de búsqueda y proceso de selección de estudios

Se realizó una búsqueda exploratoria para identificar estudios relevantes, los cuales fueron usados como artículos de control, es decir, estudios base para guiar el proceso de búsqueda. Estos estudios fueron: Affifah y cols. (2017), Li y Wong (2015), Seemakurthi y cols. (2015), y Yao y cols. (2018). Esta búsqueda se basó en el objetivo y las preguntas de investigación del estudio. La cadena de búsqueda se construyó a partir de la extracción de términos clave del título y del resumen del conjunto de artículos de control, y el criterio de los investigadores. Se usó el modelo PICO (Población, Intervención, Comparación, Salidas) (Pai y cols., 2004) para la construcción de la cadena de búsqueda, dando como resultado la siguiente cadena:

(*“data mining” OR “machine learning” OR “data analysis”*) AND
(*“financial” AND “fraud*” AND “detection”*)

La cadena fue producto de un proceso de refinamiento que incluyó varias pruebas piloto para reducir el ruido. Las búsquedas automatizadas se realizaron en las bases de datos SCOPUS, IEEE Xplore, y Web of Science. El protocolo base del mapeo fue desarrollado durante el primer semestre del 2019. La búsqueda automatizada se realizó en mayo de 2019 y los estudios se analizaron entre mayo y agosto de 2019.

El número de estudios recuperado para cada base de datos fue: 240 en Scopus, 147 en IEEE Xplore y 33 en Web of Science. Los artículos fueron tabulados en MS Excel para los procesos de selección, evaluación y extracción de datos. Se eliminaron los duplicados, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión (I/E) y finalmente se hizo la extracción y el análisis de los resultados. Tras la eliminación de los artículos duplicados, se obtuvo un total de 316 entradas diferentes.

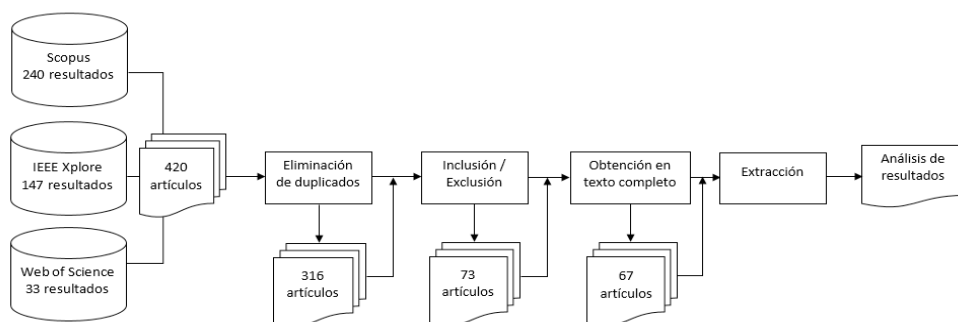


Figura 1 – Proceso de selección de los artículos.

El proceso de I/E se hizo con base en el título y el resumen de los artículos (cuando hubo duda, se hizo lectura completa del artículo). Se incluyeron solo (I1) artículos en inglés, (I2) que presentaran la aplicación de técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático en el contexto de la detección de fraudes en estados financieros. Se excluyeron publicaciones que (E1) no trataran sobre fraude en estados financieros, (E2) artículos que no son estudios primarios, y (E3) artículos sobre medicina, criptomonedas, intrusiones o malware. Se identificaron un total de 67 artículos, tal como se muestra en la Figura 1. Existen 6 artículos que no pudieron ser obtenidos en texto completo y que reportamos a continuación: Young Moon y Don Kim (2017), Song y Ge (2012), Jan y Hsiao (2018), Rizani y Respati (2018), Meenatkshi y Sivaranjani (2016) y Xiong y cols. (2012). Estos estudios no fueron analizados.

4.2. Evaluación de calidad

La evaluación de la calidad refleja el nivel de detalle ofrecido por cada artículo para los aspectos estudiados. Para la evaluación de la calidad de los estudios primarios identificados se definieron las siguientes preguntas: ¿El artículo explica claramente una o varias técnicas de aprendizaje automático o minería de datos?, ¿se explica el proceso de desarrollo de una herramienta de software?, ¿se utilizan métricas para evaluar la herramienta? y ¿a qué tipo de estudio corresponde (¿experimento, cuasi-experimento o caso de estudio, encuesta? La puntuación se realizó con una escala de 0 a 1, donde 0= No cumple en lo absoluto, 0.5= Cumple parcialmente, 1 = Cumple totalmente. Los valores de calidad obtenidos variaron entre 0 y 4, con una mediana de 3,5 y un promedio de 2,9, lo que indica que la mayoría de los estudios analizados brindan el detalle requerido para responder a las preguntas de investigación. El detalle de la evaluación de calidad se encuentra disponible en <http://shorturl.at/dvLPT>.

4.3. Amenazas a la validez

A continuación se presentan las amenazas a la validez del estudio, así como las estrategias para minimizarlas.

Cobertura sujeta a los términos de búsqueda y a los repositorios de búsqueda. La cadena de búsqueda fue definida a partir de un conjunto de artículos de control, y piloteada en varias pruebas, para reducir el ruido. Las bases de datos seleccionadas son reconocidas por tener gran cobertura en el área de la ingeniería de software (SE). Ante dudas sobre la inclusión de un artículo se realizó la lectura completa. Se excluyó literatura gris y artículos que no están en inglés. Los estudios secundarios identificados durante el proceso validan la selección de artículos primarios.

Extracción y clasificación. La extracción se basa en un esquema de clasificación específico. El proceso de clasificación y extracción fue realizado por el primer autor. La interpretación de los resultados por parte de los investigadores es una amenaza a la validez. Los artículos fueron clasificados de acuerdo con lo reportado por los autores originales y en caso de no ser reportados explícitamente los investigadores de este estudio intentaron dar una clasificación. Se realizó un proceso sistemático para la clasificación de los artículos. Se diseñó un formulario de extracción para la recolección de datos que guía

el proceso y podría ser revisado. La aplicación de los criterios de calidad fue realizada solo por un investigador, lo que representa una amenaza a la validez.

Generalización de los resultados. La generalización de resultados se limita a los estudios incluidos en el mapeo. Durante todo el proceso, se aplicaron protocolos para ejecutar estudios secundarios. Se reportó el proceso para facilitar el análisis y replicación.

4.4. Proceso de extracción y análisis

El proceso de extracción y análisis permitió obtener y procesar la información de interés para cada uno de los estudios relevantes. Para cada artículo se extrajo los datos para su identificación y la información para responder cada una de las preguntas de investigación: las técnicas de minería de datos y aprendizaje automático a las que hizo referencia, en qué contexto, el algoritmo utilizado, las métricas y sus resultados. Se clasificaron los algoritmos encontrados en 10 categorías, según el tipo de técnica en la que se basó cada uno, y se desarrollaron distribuciones de frecuencia con el fin de determinar las tendencias de las técnicas más utilizadas. La clasificación se basó en las categorías presentadas por Shalev-Shwartz (2014). La extracción se realizó por el investigador principal en los formularios previamente definidos para este proceso.

5. Análisis de resultados

En esta sección se presentan los resultados del mapeo. El listado completo de estudios primarios analizados se encuentra disponible en <http://shorturl.at/dvLPT>. Cada artículo se identifica con el identificador S_x , donde x corresponde al número del artículo. Los primeros artículos analizados son de 2007 y desde entonces se identificaron artículos de interés para cada año, hasta 2019. Como puede observarse en la figura 2, en 2015 y 2016 hubo un repunte en la cantidad de artículos relevantes, ambos con 11 reportes; mientras que de 2012 y 2013 se obtuvo un solo artículo de interés por cada año.

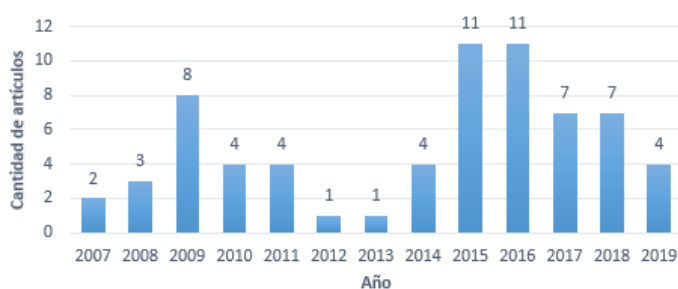


Figura 2 – Cantidad de artículos por año.

5.1. Técnicas de minería de datos y aprendizaje automático aplicadas en la detección de fraudes financieros (RQ1)

Se identificaron 8 técnicas generales de minería de datos y aprendizaje automático, además de híbridos entre 2 técnicas y propuestas de *frameworks*, de manera que se

utilizó una clasificación en 10 categorías. Se reportaron 57 algoritmos, los cuales se clasificaron dentro de cada una de las categorías. En la tabla 1 se muestran los artículos que reportan cada una de las técnicas.

Técnica	Referencia	Cantidad
Clasificación	S10, S16, S31, S44, S47, S61, S64, S66, S99, S104, S108, S112, S126, S130, S131, S133, S153, S161, S162, S163, S175, S176, S184, S188, S193, S215, S217, S220, S221, S224, S230, S235, S239, S265, S282, S297, S311, S315	38
Redes Neuronales	S10, S14, S99, S104, S126, S130, S133, S161, S163, S175, S181, S183, S217, S220, S235, S240, S265, S292, S296, S302, S311	21
Regresión	S10, S31, S112, S130, S163, S175, S176, S220, S221, S235	10
Agrupamiento	S126, S215, S217, S221, S264, S292, S297, S301	8
Probabilísticos	S3, S102, S172, S300, S304	5
Propios	S18, S247, S257, S263, S271	5
Frameworks	S11, S12, S13, S30, S111	5
Heurísticos	S126, S155, S168, S187	4
Reducción de dimensionalidad	S130, S215, S297	3
Híbridos	S15, S79, S235	3

Tabla 1 – Técnicas para detección de fraude financiero.

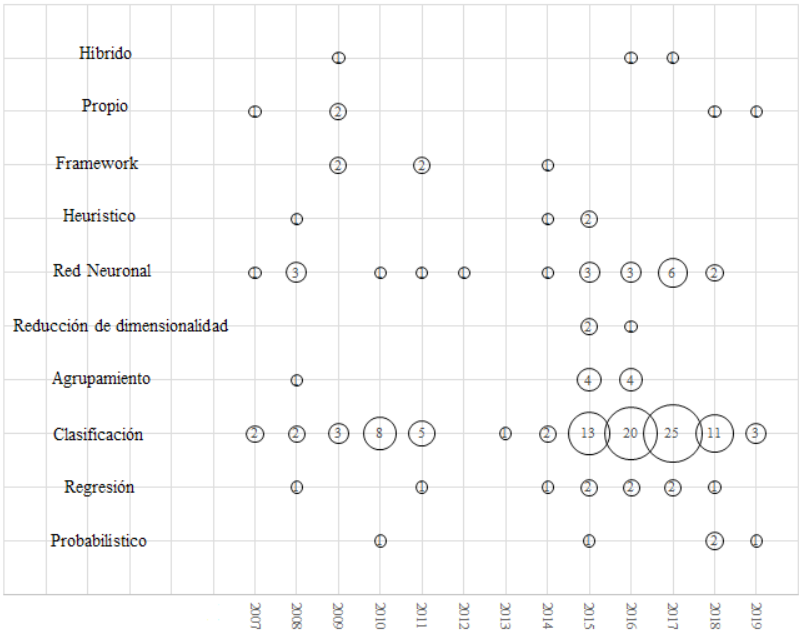


Figura 3 – Técnicas reportadas para la detección de fraudes en estados financieros.

Algunos artículos hacen referencia a más de un algoritmo, ya sean dentro de la misma categoría o de distintas categorías. En la figura 3 se muestran las categorías y los reportes por año. La técnica más reportada es la clasificación, utilizada en 95 ocasiones. Este número representa el producto de cada algoritmo reportado y la cantidad de ocasiones que utilizado en los artículos analizados.

El año 2017 es el que en más ocasiones se presenta la utilización de algoritmos dentro de la categoría *Clasificación*, con un total de 25. Del total de algoritmos distribuidos entre todas las categorías, el más frecuente fue SVM con 19 reportes, seguido por ANN con 14 reportes y DT con 11 reportes, el primero y el tercero pertenecientes a la técnica *Clasificación* y ANN perteneciente a la técnica *Redes Neuronales*, tal como se observa en la figura 4. SVM fue particularmente utilizado en 2016, con 5 referencias; además, muestra su primer reporte en 2008 y 3 reportes en 2011 y 2018, lo que evidencia que ha sido una técnica ampliamente usada; mientras que ANN y DT muestran una tendencia creciente, especialmente de 2015 a 2017, año en que tuvieron 4 reportes cada una. Se destaca además que 34 algoritmos se reportan solo una vez, además 5 herramientas corresponden a propuestas de *frameworks* y hay 5 desarrollos que no siguen una técnica en particular (desarrollos propios).

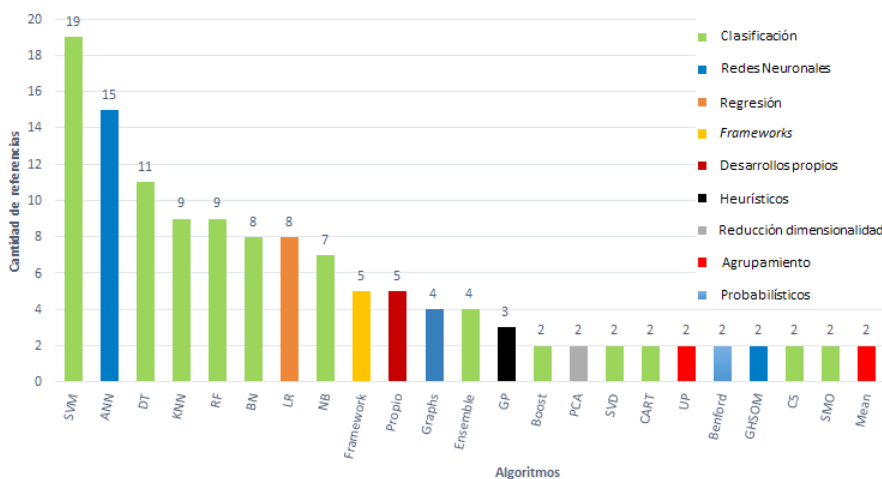


Figura 4 – Algoritmos reportados para la detección de fraudes en estados financieros.

5.2. Evaluación de la efectividad de las técnicas de minería de datos y de aprendizaje automático utilizadas en la detección de fraudes en estados financieros (RQ2)

Con respecto a las métricas utilizadas para evaluar la eficacia de las técnicas implementadas, la métrica llamada *accuracy*, (exactitud), es la más utilizada. Esta se define como el número total de predicciones correctas sobre el total de registros analizados (Seemakurthi y cols., 2015).

En la tabla 2 se muestra el listado de las métricas utilizadas para medir la eficacia de los algoritmos. Se listaron aquellas reportadas en al menos dos artículos. Puede observarse

que la exactitud es ampliamente utilizada, seguida por la especificidad y la tasa de falsos positivos. A pesar de que las tasas de falsos positivos y negativos y de verdaderos positivos y negativos son necesarias para calcular la exactitud, en algunos artículos solo se calcularon aisladamente, sin llegar a calcular la exactitud.

Es importante notar que en algunos casos se utilizan métricas con un mismo nombre, pero con fórmulas distintas: Pradeep y cols. (2015) definen la sensibilidad como $TP / (TP + FN)$, mientras Minhas y Hussain (2016) la definen simplemente como TP , y Moepya y cols. (2016) la formulan como $TP / (TN + FN)$.

En cuanto a la medición de la eficiencia se encontraron referencias a 6 métricas relacionadas con el desempeño computacional de las herramientas: *speed*, con 2 reportes (S183 y S184), *velocity* (S10), *scalability* (S257), *computational time* (S108), *computational cost* (S10) y *execution time* (S264), con un reporte cada una.

Solamente uno de los estudios analizados reporta claramente una evaluación de la eficiencia: L. Yao y Wang (L. Yao y Wang, 2015) evaluaron la escalabilidad de un algoritmo de detección de valores atípicos (*outlier detection*). Probaron el algoritmo con 4 conjuntos de datos: 1.09 MB, 1.65 MB, 3.25 MB y 5.30 MB, con los cuales se determinó que la aplicación era escalable, al obtener resultados positivos, sin que el tamaño del conjunto afectara significativamente el desempeño.

Métrica	Referencia	Cantidad
<i>Accuracy</i>	S10, S3, S44, S47, S61, S66, S79, S99, S112, S126, S130, S131, S133, S153, S161, S162, S1175, S176, S187, S188, S193, S220, S221, S224, S235, S282, S297, S300	30
<i>Specificity</i>	S66, S108, S126, S130, S168, S176, S188, S193, S221, S282	10
<i>False positive rate</i>	S15, S61, S79, S133, S162, S220, S221, S282, S296, S302	10
<i>Precision</i>	S8, S66, S162, S187, S188, S221, S239, S271, S282	9
<i>Sensitivity</i>	S66, S108, S126, S168, S176, S188, S193, S221, S282	9
<i>False negative rate (FN)</i>	S15, S61, S79, S133, S162, S220, S296, S302	8
<i>Recall</i>	S18, S66, S162, S187, S239, S271	6
<i>F-Measure</i>	S66, S220, S221, S282, S301	5
<i>F1-Score</i>	S161, S162, S239, S271	4
<i>Classes discovered</i>	S181, S230, S247	3
<i>Motyka distance</i>	S215, S297	2
<i>True negative rate (TN)</i>	S155, S220	2
<i>Dice distance</i>	S215, S297	2
<i>Area Under Curve</i>	S126, S161	2
<i>Error-rate</i>	S188, S220	2

Métrica	Referencia	Cantidad
<i>Squared Euclidean distance</i>	S215, S297	2
<i>Kappa</i>	S176, S193	2
<i>Lorentzian distance</i>	S215, S297	2
<i>True positive rate (TP)</i>	S155, S220	2

Tabla 2 – Métricas utilizadas para evaluar la eficacia.

6. Conclusiones

Se realizó un mapeo sistemático de literatura con el que se identificaron las técnicas de minería de datos y aprendizaje automático utilizadas para la detección de fraudes en estados financieros. A partir 67 artículos que datan de 2007 a 2019, se extrajeron los algoritmos reportados y se clasificaron en 10 categorías, correspondientes a técnicas distintas.

Se extrajeron también las métricas utilizadas para medir la efectividad de los algoritmos, desde su eficacia y su eficiencia. Se encontró que en 2015 hubo un repunte en la cantidad de investigaciones y que la técnica clasificación es la más reportada, y dentro de ella, las máquinas de soporte vectorial (SVM) son el algoritmo más utilizado, reportado en 19 estudios, seguido por las redes neuronales artificiales (ANN), con 15 reportes y los árboles de decisión (DT), con 11 reportes.

La exactitud (*accuracy*) es la métrica de eficacia más utilizada. Se encontraron valores de exactitud que rondan entre el 70% y el 99.9% en implementaciones de técnicas de clasificación, específicamente con SVM, que fue el algoritmo más reportado, por lo que puede observarse un cambio con lo obtenido por Albashrawi (2016), quien determinó que, para 2015, SVM ocupaba el tercer lugar en tendencia de uso y Duhart y Hernández-Gress (2016), que localizaron las redes bayesianas, ANN y DT en las primeras posiciones.

De las 6 métricas de eficiencia identificadas en los artículos, 4 están enfocadas en el tiempo que toman las técnicas implementadas en arrojar un resultado (*speed*, *velocity*, *execution time* y *computational time*), una métrica midió el costo computacional (*computational cost*) y una contempló ambos aspectos (*scalability*).

Se requiere una apertura de la industria financiera para proveer conjuntos de datos de casos reales que permitan crear herramientas que, incluso, podrían eventualmente hacer detecciones de fraude en tiempo real. Los resultados obtenidos permiten contar con una referencia para la elección del enfoque más apropiado en la implementación de sistemas para la detección de fraudes en estados financieros, por ejemplo, en empresas y entidades de fiscalización gubernamentales. Como trabajo futuro se propone realizar mayor investigación sobre la eficiencia de los algoritmos, de manera que pueda hacerse mayor comparación de la velocidad o el costo computacional de implementarlos.

Referencias

- Association of Certified Fraud Examiners, Inc. (2018). *Report To The Nations 2018. Global Study On Occupational Fraud And Abuse*. Descargado de <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/acfepublic/2018-report-to-the-nations.pdf>
- Affah Rizki, A., Surjandari, I. y Aldiana Wayasti, R. (2017, 10). *Data mining application to detect financial fraud in indonesia's public companies*. En (p. 206-211). doi: 10.1109/ICSITech.2017.8257111
- Albashrawi, M. (2016, 07). Detecting financial fraud using data mining techniques: A decade review from 2004 to 2015. *Journal of Data Science*,14, 553-570.
- Basili, V., Gianluigi, C. and Rombach, D. (1994). The goal question metric approach. *Encyclopedia of software engineering 1994*, pp. 528-532.
- Blum, A., Hopcroft, J., y Kannan, R. (2015). Foundations of data science. Descargado de <https://www.cs.cornell.edu/jeh/book.pdf>
- Duhart, B., y Hernández-Gress, N. (2016, 12). Review of the principal indicators and data science techniques used for the detection of financial fraud and money laundering. En (p. 1397-1398). doi: 10.1109/CSCI.2016.0267
- Guerequeta, R., y Vallecillo, A. (2000). Técnicas de diseño de algoritmos. Descargado de: <http://www.lcc.uma.es/~av/Libro/>
- Jan, C.-L., y Hsiao, D. (2018, 04). Detection of fraudulent financial statements using decision tree and artificial neural network. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 9, 347-352.
- Kitchenham, B. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report*.
- Li, H., y Wong, M. L. (2015, 05). Financial fraud detection by using grammar-based multi-objective genetic programming with ensemble learning. doi: 10.1109/CEC.2015.7257014
- Meenatkshi, R., y Sivaranjani. (2016, 01). Fraud detection in financial statement using data mining technique and performance analysis. 9, 407-413.
- Minhas, S., y Hussain, A. (2016, 05). From spin to swindle: Identifying falsification in financial text. *Cognitive Computation*, 8. doi: 10.1007/s12559-016-9413-9
- Moepya, S., Akhoury, S., Nelwamondo, F., y Twala, B. (2016, 02). The role of imputation in detecting fraudulent financial reporting; 12, 333-356.
- Ngai, E., Hu, Y., Wong, Y., Chen, Y., y Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. *Decision Support Systems*, 50(3), 559 - 569. Descargado de: <http://shorturl.at/nRS28>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.08.006>.
- Pai, M., McCulloch, M., Gorman, J.D., Pai, N.P., Enanoria, W.T., Kennedy, G.E., Tharyan, P., & Colford, J.M. (2004). Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. *The National medical journal of India*, 17 2, 86-95.

- Petersen, K., Vakkalanka, S. and Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, vol. 64, pp. 1–18, 2015.
- Pradeep, G., Ravi, V., Nandan, K., L. Deekshatulu, B., Bose, I., y Aditya, A. (2015). Fraud detection in financial statements using evolutionary computation based rule miners. En (Vol. 8947, p. 239-250). doi: 10.1007/978-3-319-20294-5_21
- Reurink, A. (2016, 05). Financial fraud: A literature review. *MPIfG Discussion Paper Series*, 1 6. doi: 10.1111/joes.12294
- Rizani, F., y Respati, N. (2018, 04). Factors influencing the presentation of fraudulent financial reporting in indonesia. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 9, 254-264. doi: 10.14505/jarle.v9.1(31).31
- Seemakurthi, P., Zhang, S., y Qi, Y. (2015, April). Detection of fraudulent financial reports with machine learning techniques. En *2015 Systems and information engineering design symposium* (p. 358-361). doi: 10.1109/SIEDS.2015.7117005
- Shalev-Shwartz, B.-D. S., S. (2014). Understanding machine learning: From theory to algorithms. Descargado de: <http://shorturl.at/cmwQ4>
- Song, X., y Ge, Y. (2012, 01). Detecting financial statement fraud: A comparative study using data mining methods. *International Review on Computers and Software*, 7, 1778-1783
- West, J., Bhattacharya, M., y Islam, M. R. (2015, 10). Intelligent financial fraud detection practices: An investigation. doi: 10.1007/978-3-319-23802-9_16
- Xiong, H., Lu, W., y Jiang, T. (2012, 12). Rare class analysis: Svms using local clustering and nearest neighbor. *Journal of Computational Information Systems*, 8, 9815-9822
- Yao, J., Zhang, J., y Wang, L. (2018, 05). A financial statement fraud detection model based on hybrid data mining methods. En (p. 57-61). doi: 10.1109/ICAIBD.2018.8396167
- Yao, L., y Wang, Z. (2015, 09). Research on the algorithm of hadoop-based spatial-temporal outlier detection. En (p. 799-804). doi: 10.1109/IMCCC.2015.175
- Young Moon, W., y Dong Kim, S. (2017, 10). Adaptive fraud detection framework for fintech based on machine learning. *Advanced Science Letters*, 23, 10167-10171. doi: 10.1166/asl.2017.10412

DANDELION: Propuesta metodológica para recopilación y análisis de información de artículos científicos. Un enfoque desde la bibliometría y la revisión sistemática de la literatura.

M. Alexandra Espinosa C.¹, Efrén Romero R.², Leidy Y. Flórez G.³, Cesar D. Guerrero⁴

mespinosa3@unab.edu.co, eromero21@unab.edu.co, lfllorez673@unab.edu.co, cguerrer@unab.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

² Universidad Industrial de Santander UIS – Escuela de estudios industriales y empresariales. Cra 27 calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680002

³ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

⁴ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

Pages: 110–122

Resumen: Las revisiones sistemáticas de la literatura (RSL) se han utilizado ampliamente en la fundamentación teórica para el desarrollo de investigaciones, debido a que se reconocen por la academia como un instrumento para la recopilación sintetizada de evidencia que, al seguir una serie de pasos documentados y sistematizados, aseguran la comprensión, transparencia y replicabilidad de resultados. No obstante, RSL presenta algunas deficiencias en la consecución final de los resultados, tales como el sesgo del investigador en la toma de decisiones desde etapas tempranas del proceso hasta el análisis de resultados. Este artículo propone una metodología que mitigue o elimine la subjetividad en el proceso de construcción de una RSL, empleando diferentes técnicas empleadas en análisis bibliométrico y propuestas por los autores.

Palabras-clave: Revisión sistemática de literatura; bibliometría; cienciometría, co-citación, fortaleza de vínculos

Methodological proposal for the compilation and analysis of information from scientific articles. An approach from bibliometrics and the systematic review of literature.

Abstract: Systematic reviews of the literature (SR) have been widely used in the theoretical background for the development of research, since it is acknowledged by academia as an instrument for the synthesized collection of evidence that, by

following a series of documented and systematized steps, assure the comprehension, transparency and reproducibility of results. However, SR presents some deficiencies in the achievement of results, such as the researcher's bias in decision making from early stages of the process to the analysis of results. This article proposes a methodology that both mitigates and eliminates subjectivity in the SR construction process, using different techniques used for bibliometric analysis and proposed by the authors.

Keywords: Systematic review of literature; bibliometrics; scientometrics, co-citation, strength of bonds

1. Introducción

El proceso de investigación parte de una pregunta referida a un problema particular que se vuelve objeto de estudio para validar o encontrar una o varias soluciones a la pregunta planteada. Investigadores tanto en proceso de formación como altamente experimentados, acuden a la revisión de la literatura como mecanismo para ubicarse en la punta del conocimiento sobre el problema de investigación abordado, la pregunta formulada, las soluciones existentes en la literatura y los referentes teóricos y conceptuales que le dan piso a la investigación.

La revisión de literatura se puede definir según (Fink, 2010) como un método sistemático, explícito y reproducible para identificar, evaluar y sintetizar el cuerpo existente de trabajo terminado y documentado generado por investigadores, académicos y profesionales. Esta definición hace evidente el método sistemático que debe seguirse para construirla. De ahí que hablemos de revisión sistemática de literatura (RSL) que se puede considerar como una metodología que busca identificar, evaluar e interpretar toda la información disponible relevante, que puede ser publicada o no publicada, como respuesta a una pregunta de investigación bien definida, o tópico o fenómeno de interés (Arksey & O'Malley, 2005; Babar, Ghazali, & Jawawi, 2014a; Kitchenham, 2004); por medio de recopilación de estudios evaluados con criterios de calidad (Cardona Arias, Higuera Gutiérrez, & Ríos Osorio, 2016) en un periodo de tiempo delimitado (Ramdhani, Ramdhani, & Amin, 2014).

1.1. Utilidad de la revisión sistemática de la literatura

Estas revisiones sistemáticas son utilizadas ampliamente en el desarrollo de investigaciones, ya que a) representan una fuente importante en la contribución científica al detectar brechas e inconsistencias en el cuerpo de conocimiento (Anderson & Reynolds, 2018; Ramdhani et al., 2014), b) identifican al autor o los autores "expertos" en la pregunta de investigación formulada, c) sirve como guía a nuevos investigadores sobre criterios metodológicos en la consecución de datos y sistematización de la información, d) facilita la dirección de una investigación al permitirle al investigador determinar o definir preguntas o hipótesis (Ramdhani et al., 2014) e) revisa y expande un tópico de investigación (Ramdhani et al., 2014), f) coloca al cuerpo de investigación en un contexto histórico (Ramdhani et al., 2014), g) permite a los investigadores conseguir financiación para sus investigaciones y h) expone evidencias sobre las razones por las cuáles el tópico debe ser estudiado (Kitchenham, 2004a).

Difiere de otros tipos de revisiones de literatura al establecer como fuente de investigación la pregunta problema la cual debe estar formulada de forma clara y objetiva (Sánchez-Meca, 2010), y al aplicar protocolos sistemáticos para la recolección de datos e información, a partir de los cuales es posible ofrecer evidencias claras y objetivas sobre el tópico investigado, ofreciendo el rigor investigativo que valide los resultados de publicación. Debido a la gran cantidad de información que maneja las RSL, el investigador está obligado a tomar una serie de decisiones que concluyen en serios problemas (Velásquez Henao, 2015): búsqueda incompleta de literatura y sesgos en su selección (Beltrán G, 2005), así como la dificultad en establecer criterios de calidad para selección de artículos, variabilidad entre estudios e incorrecta combinación de datos (Gatchel & Licciardone, 2017; Higgins, Thompson, Deeks, & Altman, 2003; Rees & Ebrahim, 2001), dificultades en la validación externa debido a la cantidad de información gris que hace dispendiosa la corroboración de investigación y la creación de filtros representados en los criterios de calidad que avalen los artículos seleccionados (Beltrán G, 2005), investigaciones en contextos y análisis diferentes (Cardona Arias et al., 2016).

1.2. Bibliometría y revisión sistemática de la literatura

La bibliometría ofrece una base de conocimiento y de prácticas que fundamentan y facilitan la toma de decisiones en el desarrollo del proceso de RSL. La visualización desde una perspectiva científica de dominios de investigación ofrece una herramienta de apoyo para extraer información relevante propia de las características de las redes sociales científicas, con base en variables como tiempo y distancia, o soportados en la lógica de grafos. Estas visualizaciones se presentan como redes con dos características fundamentales: los nodos y los vínculos entre nodos. Se define red como un conjunto de objetos y las relaciones entre pares de objetos. Estas visualizaciones aportan accesibilidad (sobre grandes volúmenes de publicaciones) y apoyan el proceso de confirmación o refutación de conocimiento, así como la generación de alertas sobre temas de interés o tópicos emergentes.

La bibliometría se ha usado como validación de los hallazgos encontrados en la RSL. En el mejor de los casos, asegura la transparencia y replicabilidad de la información obtenida, lo cual se considera un factor importante en todos los procesos de investigación (Davis, Mengersen, Bennett, & Mazerolle, 2014; Salmon, 2003; Snilstveit, Oliver, & Vojtkova, 2012). Sin embargo, un problema se evidencia cuando el análisis, por separado, de ambos resultados discrepa obligando a los investigadores el tomar la decisión de rehacer toda la construcción de la RSL o la de omitir el estudio bibliométrico. Considerando, experiencias en el desarrollo de ejercicios de fundamentación teórica, los autores proponen una nueva metodología que combina la rigurosidad investigativa de la RLS mientras se mitigan sus debilidades en ciertas partes del proceso empleando procedimientos realizados por bibliometría.

2. Desarrollo de propuesta metodológica

Cada una de las investigaciones de la literatura en un área de conocimiento específica, tiene necesidades específicas de acuerdo a los objetivos establecidos, por lo que se

Fases	Subfases	Autores
Motivación de la investigación (Babar et al., 2014)	Conformación de equipo de investigación	(Da Silva et al., 2011)
	Pregunta de investigación	
	Definición de tópico	(Rhoades, 2011)
	Evaluar calidad de pregunta de investigación	(Gupta et al., 2018)
	Objetivos de investigación	(Kitchenham, 2004a)
	Alcance	(Koutsos et al., 2019)
Diseño de la revisión (Snyder, 2019) (Babar et al., 2014) (Da Silva et al., 2011) (Gupta et al., 2018)	Selección de base de datos	
	Identificar literatura relevante	(Rhoades, 2011)
	Selección de filtro ejecutado por sólo un investigador	(Arksey & O'Malley, 2005)
	Procedimientos de decisión	(Cartaxo, Pinto, & Soares, 2018)
	Criterios de inclusión y exclusión	
	Criterios de evaluación de calidad	(Kitchenham, 2004a)
Conducción de la revisión (Snyder, 2019) (Babar et al., 2014)	Búsqueda inicial	(Kitchenham, 2004a)
	Selección de ecuación de búsqueda (limitada sólo al motor de búsqueda SCOPUS)	(Cartaxo et al., 2018)
	Escudriñar estudios relevantes	(Rhoades, 2011)
	Desarrollar protocolo de búsqueda	
	Búsqueda y selección de artículos apropiados	
	Cartografía de datos	(Arksey & O'Malley, 2005)
	Validación de estudios y selección de acuerdo con criterios	(Kitchenham, 2004a)
	Filtrado de estudios	(Da Silva et al., 2011)
	Registrar revisión	
Análisis y síntesis de literatura (Ramdhani et al., 2014)	Recuperación de documentos	
	Evaluación del sesgo de los estudios	(Kitchenham, 2004a)
		(Gupta et al., 2018)
	Extracción de datos	
	Agregación de datos y síntesis de la información	
	Limitaciones del método de búsqueda	(Kitchenham, 2004a)
	Validación manual y automatizada	(Kitchenham, 2004a)
	Relaciones entre artículos y estudios primarios	(Kitchenham, 2004a)
	Extracción de datos y evaluación de calidad y confiabilidad	(Kitchenham, 2004a)
	Desarrollo de organizadores gráficos	(Gupta et al., 2018)
	Desarrollo de síntesis de la evidencia	(Rhoades, 2011)
	Determinar si los estudios son suficientes para el metaanálisis	(Rhoades, 2011)
Organización y escritura de la revisión (Snyder, 2019) (Ramdhani et al., 2014)	Síntesis e interpretación de resultados	(Rhoades, 2011)
	Calidad de extracción de tendencias	(Kitchenham, 2004a)
	Valoración crítica	(Evans & Kowanko, 2000)
	Evaluar literatura organizada y descubrir posibilidades	(Fernandez, 2019)
	Comparación, resumen y reporte de resultados	(Arksey & O'Malley, 2005)
	Escribir la revisión de la literatura: Introducción de revisión de literatura	(Fernandez, 2019)
	Estructura del documento	(Fernandez, 2019)
	Reporte de resultados para usos prácticos	(Cartaxo et al., 2018)

Tabla 1 – Revisiones sistemáticas de literatura¹

¹ La columna autores solo manifiesta aquellos aportes puntuales y significativos con respecto a una RSL estándar.

debe establecer un protocolo de revisión que permita la obtención de los resultados requeridos (Babar et al., 2014; Da Silva et al., 2011; Kitchenham, 2004a; Koutsos, Menexes, & Dordas, 2019). Este artículo surgió en el marco del proyecto “Desarrollo de un modelo de transferencia y apropiación de tecnologías del internet de las cosas para los agricultores colombianos de pequeña escala (AGRIoT)”, que en una de sus primeras etapas de investigación tenía como propósito la revisión de los fundamentos teóricos de la temática incluidos los modelos de transferencia tecnológica para Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) con el fin de determinar una caracterización válida de clasificación y adecuación de un modelo de transferencia a un contexto específico.

En primera instancia, se utilizó la metodología de RLS planteada por Tranfield (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003) al ser un referente en ejercicios de RSL en áreas relacionadas con la transferencia de conocimiento. Tras desarrollar el ejercicio de la RSL, se observó que los resultados obtenidos no cumplen con el propósito establecido por lo cual se plantea la necesidad de reflexionar acerca de la metodología en si misma y plantear una estrategia que permitiera la incorporación de conocimiento que había sido omitido inicialmente. Para ello, se realizó una búsqueda primaria de RSL que fundamentara la nueva estrategia de recolección, síntesis y análisis de información adoptando criterios que, a consideración de los autores, eran útiles para la investigación (Tabla 2 Tabla 1).

2.1. Revisando guías para revisiones sistemáticas de literatura

Las RSL se han desarrollado en las ciencias médicas como una forma de sintetizar las investigaciones de tal forma que sus hallazgos, presentados en forma de pasos metódicos y documentados, puedan ser transparentes y reproducibles, y utilizados con fines prácticos (Davis et al., 2014).

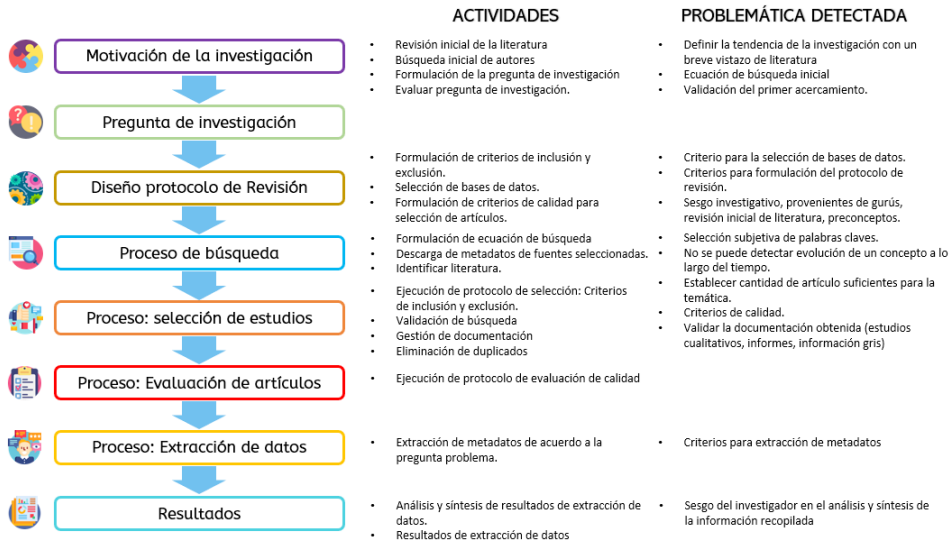


Figura 1 – Metodología inicial propuesta para la revisión sistemática de literatura con detección de problemas. Imágenes tomadas de flaticon.es

La metodología resultante a la búsqueda de información inicial puede observarse en la **Figura 1**. No obstante, la ejecución de los pasos pone en evidencia nuevas dificultades que no pueden ser mitigadas con las observaciones ofrecidas por los autores. De esta manera, se hace necesario buscar otro mecanismo que brinde un soporte en las decisiones cruciales y que determinan la calidad de los resultados presentados, lo que finalmente propicia la pertinencia en el desarrollo de las investigaciones y permite identificar nuevas oportunidades de investigación.

2.2. Cienciometría: incorporando análisis bibliométrico a RSL

Diversas críticas se han generado alrededor de las debilidades de las RSL en “management” e ingeniería. De acuerdo con Tranfield et al. (Tranfield et al., 2003), parte de estas debilidades se resumen en un exceso de narrativa dentro de las revisiones y altos grados de subjetividad. Esta subjetividad, recorre todo el proceso desde la selección de palabras clave (Huang, Wang, & Chen, 2019), hasta el agrupamiento y análisis de información. La cienciometría trabaja la eliminación de la subjetividad en la definición de las palabras que delimitan un campo de investigación por medio de construcción de visualizaciones del estado del arte (Rupo, Perano, Centorrino, & Vargas-Sanchez, 2018), fundamentado en mapas de co-ocurrencia de palabras derivadas de los conjuntos indexados por las revistas y bases de datos y por medio de la extracción de términos (Eck & Waltman, 2013) a través de minería de datos de los resúmenes de los artículos.

La fortaleza de la visualización científica de redes está en la simplificación de la complejidad (Liu, Yin, Liu, & Dunford, 2015) de los volúmenes de información, pero esto implica un alto costo, asociado a la pérdida de información derivada de la reducción de los datos bibliográficos a una red bidimensional (Ding, Rousseau, & Wolfram, 2014). Por ejemplo, cuando los datos textuales se reducen a una red de términos de coocurrencia, se pierde información sobre el contexto en el que se generan las coocurrencias.

En los mapas científicos basados en distancia, no es posible posicionar los nodos en un espacio bidimensional de tal manera que, para cualquier par de nodos, la distancia entre los nodos refleje la relación de los nodos con una precisión perfecta (Cobo, López-Herrera, Herrera-Viedma, & Herrera, 2011). Las distancias son aproximadas, y se pierde información. En el caso de las visualizaciones basadas en líneas de tiempo (Klavans & Boyack, 2006), es posible que tengamos que restringir a la visualización de un número limitado de nodos, por ejemplo, los nodos de mayor grado en una red. Esto significa que perdemos información sobre los otros nodos de la red.

2.2.1. Respuestas cienciométricas a las falencias del proceso de RSL: aportes al modelo de RSL

Se aborda respuesta a seis conjuntos de problemas: i) volumen de información y decisiones, ii) búsqueda incompleta de literatura y sesgos en su selección, iii) criterios subjetivos de selección de artículos, iv) variabilidad entre estudios e incorrecta combinación de datos, v) dificultades en la validación externa debido a la cantidad de información gris que hace dispendiosa la corroboración de investigación y la creación de filtros representados en los criterios de calidad que avalen los artículos seleccionados, vi) investigaciones en contextos y análisis diferentes.

Respecto al primer conjunto de problemas, volumen de información, las herramientas de visualización científica, no presentan límites en su capacidad de procesar datos y sus técnicas de clusterización priorizan “ítems” (palabras, autores, revistas, artículos) basados en indicadores de impacto (Ji, Liu, Huang, & Huang, 2018); respecto al segundo conjunto, búsqueda incompleta de literatura y sesgos en su selección, las tecnologías de información en conjunto con a bibliometría permite, el desarrollo de estudios longitudinales basados en líneas de tiempo (Cancino, Merigó, Coronado, Dessouky, & Dessouky, 2017); respecto al tercer conjunto de problemas asociados a subjetividad en selección de artículos, se implementan herramientas estadísticas de amplio uso en ingeniería como el principio de Pareto (Takey & Carvalho, 2016).

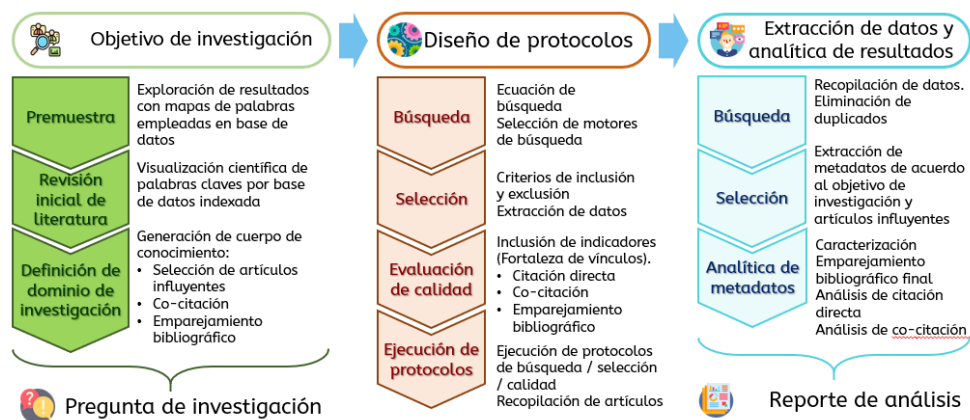


Figura 2 – Propuesta metodológica para la RSL, versión 2.

Ahora, el cuarto conjunto de problemas, variabilidad e incorrecta combinación de datos, la cienciometría aporta análisis como la “desambiguación” que minimiza fenómenos como la homonimia de autores; el quinto conjunto orientado en la validación externa de información publicada fuera de las editoriales con procesos de revisión por pares, emergen sistemas alternativos de validación basados en información de redes sociales y análisis de redes (retwits, me gusta, descargas, vistas) que ya están siendo incorporados a los sistemas tradicionales de medición de impacto (Poria, Cambria, Hussain, & Huang, 2015), y respecto al sexto conjunto de diversidad de contextos, las bases de datos de acceso abierto, facilitan el mapeo científico y análisis bibliométrico por medio del desarrollo de “APIs” aplicaciones que se comunican con los software para extracción de grandes volúmenes de datos, que captan fuentes de origen regional que no tiene cabida en las grandes editoriales.

3. Resultado revisión metodología ajustada: Aplicación a la revisión de literatura en transferencia de tecnología

Los resultados mostrados a continuación, se construyen a partir de una muestra de metadatos extraídos de la base de datos Scopus. En total, se identifica 2325 documentos

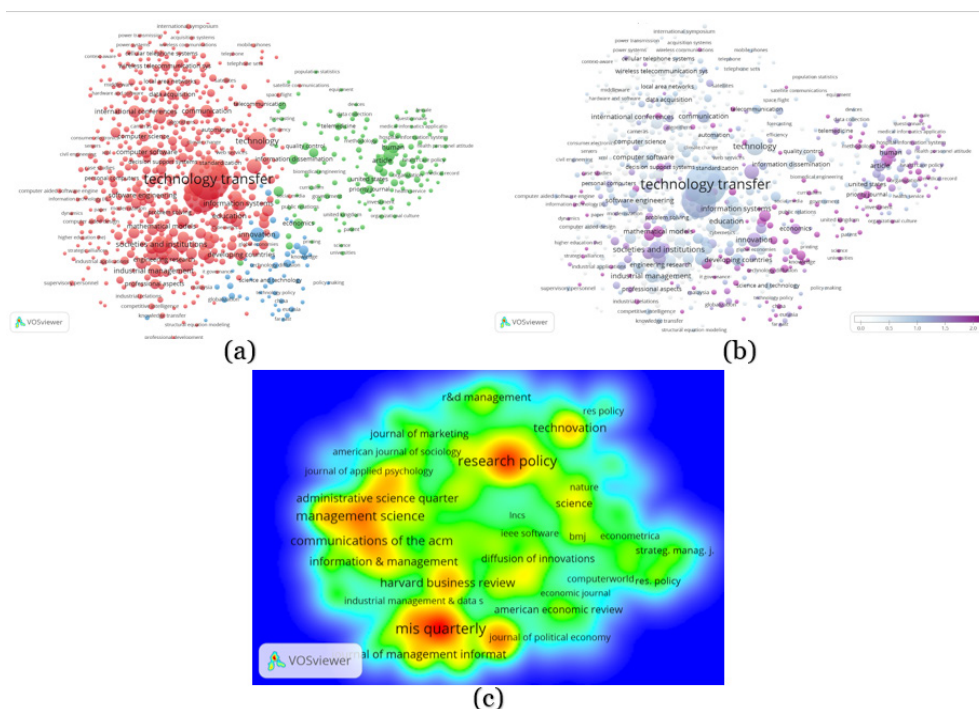


Figura 3 – (a) Frentes de investigación dentro del dominio de investigación; (b) Metodología inicial propuesta para la revisión sistemática de literatura; (c) Mapa de co-citación de revistas más influyentes dentro del dominio de investigación

relevantes para el proyecto sobre transferencia de tecnología en TIC que dió origen a la metodología planteada. Con el fin de obtener una visualización de los tópicos que dominan el estado del arte dentro de este campo, se presenta la Figura 3(a), que resume los frentes de investigación científica dentro de la temática.

El frente uno, dentro del grupo de palabras en color rojo, muestra los campos de aplicación de los estudios orientados hacia transferencia de tecnología con un enfoque de tecnologías de información y comunicación. El frente dos, cluster en color azul, muestra la relación de la temática de transferencia de tecnología con las variables de la innovación como la difusión de tecnologías, conocimiento y construcción políticas de ciencia y tecnología, dentro de un panorama de globalización.

El primer resultado diferencial de la aplicación del modelo austado de RSL, esta asociado al uso de visualizaciones científicas tipo “co-word” para la validación de palabras clave. La Figura 3(b), muestra un mapa de superposición de palabras clave. Los mapas de superposición, asignan a los nodos un atributo (van Eck & Waltman, 2010). Esta figura muestra en color púrpura, las palabras claves derivadas de los términos indexados por las revistas dentro de las cuales se publicaron los artículos de la muestra.

Criterio de la Metodología/Ítem	Autores (# de citas; S_{ij}-Fortaleza del vínculo)	Revistas (S_{ij}-Fortaleza del vínculo)	Artículos (S_{ij}-Fortaleza del vínculo)
Citación	Sung tk (75) Macome e (42) Nahar n (37)	MIS Quarterly (12971) Information and management (1604) Technovation (943)	Nahar (2006) Macome (2008)
Co-citación	Davis, fd (146) Rogers, em (138) Venkatesh, v (136)	-MIS Quarterly 17607 -Research policy (10441) -Strategic management journal (9523)	Davis, fd (13) Venkatesh (10) Cohen& Levintal (10) Davis (8) Eisenhardt (7)
Acoplamiento bibliográfico			Dimirovski (1521) Dinibutun (1135) Nahar (568) Macome (112)

Tabla 2 – Criterios cuantitativos aplicados a los ítems (autores, revistas y artículos).

Con base a la implementación de esta estrategia para eliminar la subjetividad en la selección de palabras clave, se identifican como palabras clave de mayor impacto científico: i) information technology adoption, ii) information and communication, iii) case studies, iv) mobile communication systems y v) electronic commerce. De acuerdo con el marco de referencia del proyecto AGRIoT, se incorporan los hallazgos de palabras a la ecuación, y se genera como resultado, la identificación de un total de 2325 publicaciones de interés¹.

Dentro de los objetivos de la revisión, se encuentra identificar los autores, revistas y artículos de mayor relevancia dentro del dominio de investigación. Con la implementación del modelo ampliado de RSL, se construye la Tabla 2, que resume: autores más influyentes, revistas más importantes y artículos más relevantes. Los puntajes presentados corresponden al indicador S_{ij} extraído de las matrices de adyacencia, previas a la generación de visualizaciones con el software VOSviewer. Este indicador, constituye una medida de similaridad entre ítems, estimada con base a la relación entre el # de vínculos de un ítem y el # total e vínculos de todos los ítems de la muestra (Laengle, Modak, Merigo, & Zurita, 2018).

4. Discusión

La mayor dificultad percibida en el desarrollo de RSL aplicadas en la ingeniería es el uso de criterios de decisión empleados a lo largo de su construcción: desde la formulación de la pregunta de investigación hasta el análisis de la información obtenida. El diseño de protocolos para búsqueda, selección y evaluación de calidad

¹ (TITLE-ABS-KEY (“ict”) OR TITLE-ABS-KEY (“Information and communication* technolog*”) OR TITLE-ABS-KEY (“Communication* technolog*”) OR TITLE-ABS-KEY (“information technolog*”) AND TITLE-ABS-KEY (“techno* transfer”) OR TITLE-ABS-KEY (“techno* apropiation”) OR TITLE-ABS-KEY (“diffusion of technology”)): 2325

de la información encontrada en los motores de búsqueda obedece en gran mayoría a decisiones particulares proveniente de varias fuentes, siendo la más significativa el sesgo cognitivo adquirido de experiencias investigativas previas y el sesgo provenientes de expertos temáticos (director de tesis, docente o alguien con quien se halla establecido un vínculo de confianza). Considerando que las RSL vieron su origen en las ciencias de la salud, es comprensible el uso de guías de recopilación y procedimientos estandarizados y aceptados para asegurar criterios objetivos de selección al ser abordados de forma diferente. El inconveniente es que, desde la ingeniería, no se posee tales manuales, por lo que debe buscarse otras formas de justificar decisiones empleando al mínimo criterios subjetivos. La cienciometría ofrece una serie de herramientas que permite minimizar o eliminar el sesgo: Al explorar una premuestra para encontrar las palabras con mayor índice de repetibilidad en tesauros reconocidos por cada uno de los tópicos de interés, ofrece aspectos como la selección de palabras clave que servirán como apoyo para el cálculo de ecuaciones de búsqueda que determine un mayor índice de éxito.

El cuerpo de conocimiento de la metodología propuesta se fundamenta en la información estandarizada, y al poder realizar un análisis inicial con la premuestra, permite la visualización de clúster de información que tiene como objetivo ofrecerle al investigador un mapa sobre el área de conocimiento de su interés, facilitando encontrar a sus principales referentes y eventualmente el conjunto de teorías, técnicas y herramientas ampliamente empleadas debido al índice de citación de los autores influyentes. Al realizar el estudio de flujo de conocimiento, resultado obtenido del emparejamiento bibliográfico, permite determinar la evolución teórica y conceptual de algunos términos en el paso del tiempo, ofreciendo pistas sobre adecuados criterios de selección e inclusión que deben ser implementados con el fin de diseñar filtros que permitan la adquisición de información pertinente.

La inclusión de indicadores para evaluar la calidad de la información recopilada, empleando fortaleza de vínculos por medio de estadística de similaridad, deja de lado el análisis de nodos (autores, citación de autores) para concentrarse en sus vínculos (citación directa, co-citación y emparejamiento bibliográfico) que determina un cuerpo de conocimiento representado en una red de relaciones, con una visualización que ofrece al científico una visión general del campo de acción, la pertinencia, tendencia de su tópico y qué tan visible representa sus resultados ante la academia.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), como entidad financiadora, y a la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), como entidad ejecutora, mediante las cuales ha sido posible el desarrollo de las actividades de investigación del proyecto AGRIoT; lo cual permitió identificar la necesidad del presente artículo de investigación y obtener los resultados a partir de lo cual se construyó. El proyecto AGRIoT inició partir de la firma del contrato de financiamiento de recuperación contingente No 80740-200-2019, entre Colciencias y la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Referencias

- Anderson, L., & Reynolds, T. (2018). *LITERATURE REVIEW IDEAS FOR THE EXPERIENCED RESEARCHER: Exploring and analyzing findings and trends from the current body of research on a particular topic*. EVANS SCHOOL POLICY ANALYSIS AND RESEARCH (EPAR). Retrieved from https://evans.uw.edu/sites/default/files/epar_uw_literature_reviews_advanced_1.3.18_final_2.pdf
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Babar, M. I., Ghazali, M., & Jawawi, D. N. A. (2014). Systematic reviews in requirements engineering: A systematic review. *2014 8th Malaysian Software Engineering Conference, MySEC 2014*, 43–48. <https://doi.org/10.1109/MySec.2014.6985987>
- Beltrán G, Ó. A. (2005). *Revisiones sistemáticas de la literatura*. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v20n1/v20n1a09.pdf>
- Cancino, C., Merigó, J. M., Coronado, F., Dessouky, Y., & Dessouky, M. (2017). Forty years of Computers & Industrial Engineering: A bibliometric analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 113, 614–629. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.08.033>
- Cardona Arias, J. A., Higueta Gutiérrez, L. F., & Ríos Osorio, L. A. (2016). *Revisiones sistemáticas de la literatura científica: La investigación teórica como principio para el desarrollo de la ciencia básica y aplicada*. *Revisiones sistemáticas de la literatura científica: La investigación teórica como principio para el desarrollo de la ciencia básica y aplicada*. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://doi.org/10.16925/9789587600377>
- Cartaxo, B., Pinto, G., & Soares, S. (2018). Towards a model to transfer knowledge from software engineering research to practice. *Information and Software Technology*, 97, 80–82. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.01.001>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382–1402. <https://doi.org/10.1002/asi.21525>
- Da Silva, F. Q. B., Santos, A. L. M., Soares, S., Frana, A. C. C., Monteiro, C. V. F., & MacIel, F. F. (2011). Six years of systematic literature reviews in software engineering: An updated tertiary study. *Information and Software Technology*, 53(9), 899–913. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.04.004>
- Davis, J., Mengersen, K., Bennett, S., & Mazerolle, L. (2014). Viewing systematic reviews and meta-analysis in social research through different lenses. *SpringerPlus*, 3(1), 511. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-511>
- Ding, Y., Rousseau, R., & Wolfram, D. (2014). *Measuring Scholarly Impact*. (Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram, Eds.). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8>

- Eck, N. J. Van, & Waltman, L. (2013). *VOSviewer Manual*. Leiden: Universiteit Leiden. Retrieved from https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.5.4.pdf
- Evans, D., & Kowanko, I. (2000). LITERATURE REVIEWS: EVOLUTION OF A RESEARCH METHODOLOGY. *Journal of Advanced Nursing*, 18(2), 33–38. Retrieved from <http://www.ajan.com.au/Vol18/Vol18.2-4.pdf>
- Fernandez, K. V. (2019). Critically reviewing literature: A tutorial for new researchers. *Australasian Marketing Journal*, (xxxx), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2019.05.001>
- Fink, A. (2010). *Conducting research literature reviews : from the Internet to paper*. SAGE.
- Gatchel, R. J., & Licciardone, J. C. (2017). Potential Problems With Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Journal of Pain*, 18(2), 228–229. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2016.09.006>
- Gupta, S., Rajiah, P., Middlebrooks, E. H., Baruah, D., Carter, B. W., Burton, K. R., ... Miller, M. M. (2018). Systematic Review of the Literature: Best Practices. *Academic Radiology*, 25(11), 1481–1490. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.04.025>
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses Need for consistency. *Bmj*, 327, 557–560.
- Huang, M., Wang, Z., & Chen, T. (2019). Analysis on the theory and practice of industrial symbiosis based on bibliometrics and social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 213, 956–967. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.131>
- Ji, L., Liu, C., Huang, L., & Huang, G. (2018). The evolution of Resources Conservation and Recycling over the past 30 years: A bibliometric overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(October 2017), 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.005>
- Kitchenham, B. (2004a). Procedures for Performing Systematic Literature Reviews. *Joint Technical Report, Keele University TR/SE-0401 and NICTA TR-0400011T.1*, 33.
- Klavans, R., & Boyack, K. W. (2006). Identifying a better measure of relatedness for mapping science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(2), 251–263. <https://doi.org/10.1002/asi.20274>
- Koutsos, T. M., Menexes, G. C., & Dordas, C. A. (2019). An efficient framework for conducting systematic literature reviews in agricultural sciences. *Science of the Total Environment*, 682, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.354>
- Laengle, S., Modak, N. M., Merigo, J. M., & Zurita, G. (2018). Twenty-Five Years of Group Decision and Negotiation: A Bibliometric Overview. *Group Decision and Negotiation*, 27(4), 505–542. <https://doi.org/10.1007/s10726-018-9582-x>
- Liu, Z., Yin, Y., Liu, W., & Dunford, M. (2015). Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 103(1), 135–158. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1517-y>

- Poria, S., Cambria, E., Hussain, A., & Huang, G. Bin. (2015). Towards an intelligent framework for multimodal affective data analysis. *Neural Networks*, 63, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.10.005>
- Ramdhani, A., Ramdhani, M., & Amin, A. (2014). Writing a Literature Review Research Paper: A step-by-step approach. *International Journal of Basic and Applied Science*, 3(01), 47–56. <https://doi.org/E-ISSN: 2301-8038>
- Rees, K., & Ebrahim, S. (2001). Promises and problems of systematic reviews. *HeartDrug*, 1(5), 247–248. <https://doi.org/10.1159/000048970>
- Rhoades, E. (2011). Literature Reviews. *The Volta Review*, 111(1), 61–71. <https://doi.org/10.17955/tvr.111.1.677>
- Rupo, D., Perano, M., Centorrino, G., & Vargas-Sanchez, A. (2018). A Framework Based on Sustainability, Open Innovation, and Value Cocreation Paradigms—A Case in an Italian Maritime Cluster. *Sustainability*, 10(3), 729. <https://doi.org/10.3390/su10030729>
- Salmon, P. (2003). How do we recognise good research? - Vol. 16, Part 1 (January 2003). *The Psychologist*, 16(1), 24–27. Retrieved from http://www.thepsychologist.org.uk/archive/archive_home.cfm?volumeID=16&editionID=90&ArticleID=504
- Sánchez-Meca, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, 38(2), 53–64. <https://doi.org/ISSN: 0210-2773>
- Snilstveit, B., Oliver, S., & Vojtkova, M. (2012). Narrative approaches to systematic review and synthesis of evidence for international development policy and practice. *Journal of Development Effectiveness*, 4(3), 409–429. <https://doi.org/10.1080/19439342.2012.710641>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104(March), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Takey, S. M., & Carvalho, M. M. (2016). Fuzzy front end of systemic innovations: A conceptual framework based on a systematic literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 111, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.011>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). *Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review**. *British Journal of Management* (Vol. 14).
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Velásquez Henao, J. D. (2015). Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura. Parte 4. *DYNA*, 82(190), 9–12. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n190.49511>

Un punto de vista de evaluación de la calidad para las herramientas de modelado de características

Alonso Bobadilla Montoya¹, Samuel Sepúlveda Cuevas¹

a.bobadilla02@ufromail.cl, samuel.sepulveda@ufrontera.cl

¹ Departamento de Ciencias de la Computación e Informática, Centro de Estudios en Ingeniería de Software, Universidad de La Frontera, 4811230, Temuco, Chile.

Pages: 123–138

Resumen: Las líneas de productos de software son un enfoque para la reutilización de software basado en la definición de similitudes y variabilidades del software. Los modelos de características (MC) son los más aplicados entre las notaciones propuestas para el modelado de variabilidad. La comunidad de MC propuso varias herramientas de modelado en la última década. Se presenta un estudio del tipo mapeo sistemático que evalúa el estado actual de la investigación sobre herramientas para MC, analizando su dominio de aplicación, modelo subyacente, origen y grado de validación. Esto incluyó 32 trabajos publicados hasta 2014 que presentan 9 herramientas. El 41% de los trabajos están basados en FODA, el 53% fueron propuestos por la academia y sólo el 13% de las herramientas han sido validadas empíricamente. Finalmente, el nivel de validación se considera insuficiente, especialmente a nivel industrial, y se tienen herramientas que no admiten todas las características de los MCs.

Palabras-clave: Modelado de Características; Líneas de Productos de Software; Herramientas; Evaluación de calidad.

A quality assessment point of view for feature modeling tools

Abstract: Software product lines are an approach to software reuse based on the definition of software similarities and variabilities. The feature models (FM) are the most applied among the notations proposed for modeling variability. The FM community proposed several modeling tools in the last decade. We present a systematic mapping study that evaluates the current state of research on tools for FM, analyzing its application domain, underlying model, origin and degree of validation. This included 32 papers published until 2014 that present 9 tools. 41% of the papers are based on FODA, 53% were proposed by the academy and only 13% of the tools have been empirically validated. Finally, the level of validation is considered insufficient, especially at the industrial level, and some tools do not support all the characteristics of the FMs.

Keywords: Feature Modelling; Software Product Lines; Tool; Quality Assessment.

1. Introducción

La producción moderna de software requiere alta calidad y bajo tiempo de comercialización. Estas dos dimensiones se han considerado en tensión, por lo que establecer un equilibrio entre ambas variables aún al día de hoy es un desafío. Tradicionalmente, el tiempo de comercialización ha superado la calidad, pero desde hace un tiempo a esta parte se reconoce que esto no necesariamente debe ser así, más aún cuando se deben desarrollar múltiples productos similares (Morgan, Morgan & Moore, 2001).

Las Líneas de Productos de Software (LPS) son un enfoque que permite hacer frente a lo anterior, aumentando la productividad sin sacrificar la calidad. Las LPS son un conjunto de sistemas de software intensivos que comparten un conjunto común de características y se desarrollan para un dominio específico mediante un proceso definido (Clements & Northrop, 2001). Son varios los beneficios conocidos del uso de LPS, entre los cuales están: reducción en los ciclos de desarrollo del producto, aumento de la productividad en un orden de magnitud, disminución del costo y una mejora sustancial en la calidad de los productos (Ahmed & Capretz, 2008; McGregor *et al.*, 2010).

Las LPS se estructuran en dos fases: (i) ingeniería de dominio e (ii) ingeniería de aplicación. La primera fase se centra en la definición y construcción de activos que incorporan de manera sistemática elementos comunes y variables del dominio, y la segunda fase crea una instancia de los activos de ingeniería de dominio en productos de software específicos para satisfacer las necesidades de los clientes (Vale *et al.*, 2017).

El modelado de requerimientos es una de las partes más importantes de la ingeniería de dominios. Ésta implica el análisis de elementos comunes y diferencias entre los productos en una LPS en términos de características del producto, las cuales se especifican en forma de modelo.

A partir de lo planteado por (Sepúlveda, Cravero & Cachero, 2016), es posible afirmar que si bien existen varias propuestas para la representación de la variabilidad, son los Modelos de Características (MC) el formalismo más utilizado para especificar requerimientos en las LPS. Entre otras propuestas para representar la variabilidad están los Modelos de Variabilidad Ortogonal (Pohl, Böckle & van Der Linden, 2005), los MCs basados en la Cardinalidad (Czarnecki, Helsen & Eisenecker, 2005) o los Modelos de Decisión (Weiss *et al.*, 2008).

Por otro lado, si bien los MC son la propuesta más usada para representar la variabilidad, estos presentan un conjunto de dificultades, tales como inconsistencias o sub especificaciones en la definición de lo que un MC debería ser (Riebisch, Streitferdt & Pashov, 2003; Sepúlveda, Cares & Cachero, 2013).

El objetivo del presente artículo es dar a conocer los resultados parciales obtenidos al realizar un mapeo sistemático y un análisis de calidad sobre un conjunto de herramientas seleccionadas que soportan el modelado de características. Estos resultados parciales corresponden a los consolidados hasta Mayo de 2014, en donde por medio del mapeo sistemático se han identificado 32 trabajos y probado 9 herramientas. Sin embargo, este trabajo está en pleno desarrollo y se espera prontamente mostrar un análisis de trabajos y herramientas publicadas hasta el 2019.

El resto del artículo está estructurado como sigue. Sección 2 presenta conceptos relacionados con LPS, MC y herramientas para el modelado de características. Sección 3 describe la metodología seguida para el desarrollo de este estudio. La sección 4 presenta y discute los principales resultados y hallazgos. Sección 5 discute algunos trabajos relacionados. Finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2. Antecedentes generales

Según lo mencionado en (Frakes & Kang, 2005), son varios los propósitos que persigue la reutilización de software, entre estos están: reducir los costos de producción, mejorar la calidad, fiabilidad y productividad del software, y reducir el tiempo de comercialización. Aunque, también existen costos extras asociados, tales como los relacionados al desarrollo y mantenimiento de los componentes de software, y algunos problemas con la falta de herramientas que soporten la reutilización durante todo el ciclo de vida (Sommerville, 2015).

En este contexto las LPS proponen un marco para el desarrollo sistemático y la reutilización de los activos de software de acuerdo con un plan de producción preestablecido (Faulk, 2001; Classen, Heymans & Schobbens, 2008).

La variabilidad es uno de los conceptos principales en las LPS, ya que corresponde a la definición de las partes del software que están presentes en todos los productos y aquellas partes que pueden cambiar de un producto a otro según el contexto particular (Galster *et al.*, 2013).

El objetivo de gestionar la variabilidad es maximizar el retorno de la inversión para construir y mantener productos durante un período de tiempo o una cantidad de productos (Bachmann & Clements, 2005).

La variabilidad se administra mediante la definición y el mantenimiento de los activos de software reutilizables opcionales y alternativos, así como las restricciones establecidas en estos activos, que el desarrollador debe resolver según las características del producto cuando se construyan los productos finales. La gestión de la variabilidad en las LPS implica tareas complejas que deben ser apoyadas por métodos, técnicas y herramientas apropiadas (Chen & Babar, 2011; Galster *et al.*, 2013).

El primer paso de la ingeniería de dominio es el análisis del dominio. Aquí, se establecen los requerimientos para toda la LPS en forma de *características* que pueden incluir los productos de la familia, generalmente por medio de un MC (Kang *et al.*, 1990). Si bien los MCs son el formalismo más utilizado para representar la variabilidad de una LPS, algunos autores afirman que no siempre es el más apropiado (Lisboa *et al.*, 2014).

Un MC es un modelo que contiene todas las *características* que pueden ser parte de los productos dentro del alcance de una determinada LPS, junto con las restricciones de su configuración. Se expresa en forma de árbol, donde cada nodo representa una característica que puede dividirse en subcaracterísticas. Existen diferentes maneras de expresar restricciones, una de ellas es usar dos tipos de relaciones entre las características: *requiere* y *excluye*.

Construir un MC manualmente requiere una cantidad enorme de tiempo y sigue siendo una tarea propensa a errores (Bécan *et al.*, 2014). Contar con un formalismo como MC

permite el soporte de herramientas y, por lo tanto, también la posibilidad de generar MC automáticamente a través de la transformación formal de otros artefactos de software como modelos de requerimientos o código fuente (She *et al.*, 2011; Casalánguida & Durán, 2012; Andersen *et al.*, 2012). Ya se han propuesto varias herramientas¹, sin embargo, no está claro qué factores se deben tener en cuenta para lograr modelos que realmente representen los aspectos de variabilidad y el nivel de detalle requerido.

3. Metodología

La metodología utilizada para la recopilación de los antecedentes fue la de mapeo sistemático, acorde a lo definido por Petersen (Petersen, Vakkalanka & Kuzniarz, 2015). El detalle del protocolo definido, las etapas y criterios considerados se detalla en (Sepúlveda y Rivera, 2019). Cabe destacar que si bien, el protocolo publicado incorpora en su diseño búsquedas de trabajos hasta el año 2019, en la siguiente sección se muestran los resultados preliminares obtenidos tras analizar los trabajos hasta el año 2014.

Al aplicar el protocolo, primero se obtuvieron 1167 trabajos resultantes de las búsquedas en las bases de datos definidas. Luego de eliminar duplicados y filtrar por temática el número de trabajos se redujo a 544. Finalmente, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 32 trabajos seleccionados.

En cuanto a la evaluación de calidad para las herramientas seleccionadas, se usó el estándar ISO/IEC 25010:2011 (ISO, 2005). Éste consta de ocho características: ajuste funcional, conformidad, eficiencia en el rendimiento, operabilidad, seguridad, compatibilidad, mantenimiento y transferencia.

Dada la extensión de la norma ISO/IEC 25010:2011 y considerando las pautas hechas por autores como (Rojas *et al.*, 2000; Ortega, Pérez & Rojas, 2003; El Dammagh & De Troyer, 2011), no se incluyeron todas las dimensiones de la norma y se consideró un conjunto de características previamente acordadas entre los investigadores. Algunas de estas características incluyen: formatos de archivo a los que se puede importar o exportar el modelo resultante, ya sea que tenga modelos completos o solo básicos y si tiene un registro de cambios además de mantener o proporcionar versiones, entre otros. Finalmente, los parámetros considerados para la evaluación de las herramientas se detallan en la Tabla 1.

Parámetro	Objetivo
Portabilidad	Medir la capacidad de la herramienta de ser ejecutada en diferentes sistemas operativos (SOs), considerando los tres más usados: Linux, OS X y Windows.
Interoperabilidad	Medir la capacidad de la herramienta de intercambiar información y usar la información intercambiada, considerando la función para importar/exportar archivos a algunos tipos de formato. Estos son: imágenes (JPG, PNG, etc.), XML o XMI, compatibles con otras herramientas de modelado de características y otros formatos (PDF, DOC).

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Feature_model#Tools

Parámetro	Objetivo
Efectividad	Medir el grado en que la herramienta puede proporcionar mecanismos que determinan la exactitud de los resultados o efectos acordados, con el propósito de evaluar la ayuda ofrecida por la herramienta de modelado de características para probar ciertos elementos de MC. Se consideran características, grupo de características y restricciones de características.
Verificabilidad	Medir el grado en que la herramienta proporciona recursos para monitorear y verificar la exactitud de los resultados, considerando el registro de cambios y versión de datos para el MC desarrollado.

Tabla 1 – Parámetros considerados para la evaluación de las herramientas

4. Resultados iniciales y discusión

Los resultados preliminares están divididos en dos partes. La sección 4.1 muestra el resumen de los trabajos seleccionados. La sección 4.2 da a conocer el resultado del análisis de calidad realizado a las herramientas presentes en los trabajos. Finalmente, la sección 4.3 plantea una discusión sobre los resultados obtenidos.

4.1. Resultados de los trabajos

A partir del mapeo sistemático realizado acorde al protocolo definido en (Sepúlveda y Rivera, 2019) se seleccionaron 32 trabajos. Seis trabajos (19%) están indexados en revistas SCI-JCR, 14 (44%) fueron publicados en conferencias de alto impacto bajo la clasificación CORE, 9 (28%) se publicaron en la conferencia SPL y VaMoS workshop, por último los 3 (9%) restantes fueron publicados en otras conferencias.

A nivel de *editores*, 22 trabajos (69%) son de ACM o IEEE, por lo que inicialmente se pueden considerar como las fuentes de referencia, 5 son de Elsevier, 2 de Springer y 3 de otros editores.

La Figura 1 muestra los trabajos por año de publicación. Se tiene que en el período 2000-2005 no existen publicaciones. Entre 2006-2009, la cantidad de trabajos permanece constante. Mientras que entre 2010-2013 existe un pequeño aumento en la cantidad de publicaciones, finalmente en 2014 la cantidad de trabajos casi se duplicó con respecto a años anteriores. Resultados preliminares para los años 2015-2019, muestran un total de 348 trabajos que tras un primer filtro se reduce a 38. Se ve que la tendencia en cantidad de trabajos será similar al 2014, ya que cada año cuenta con al menos 7 trabajos, excepto por el año 2019 donde sólo se ha seleccionado uno. Esto aún cuando es algo en pleno desarrollo, pareciera marcar una tendencia entre los años 2014-2018. El detalle se muestra en la Tabla 2.

Las preguntas de investigación (PI) formuladas en el mapeo sistemático son las siguientes:

- *PI1: ¿Cuál es el dominio de aplicación de la herramienta de modelado de características?*
- *PI2: ¿Qué modelo subyace en la herramienta de modelado de características seleccionada?*
- *PI3: ¿Dónde se han desarrollado las herramientas de modelado de características para LPS?*

- *PI4: ¿Cuál es el grado de validación empírica de las herramientas de modelado de características en las LPS?*

Año	Cantidad
2015	9
2016	11
2017	10
2018	7
2019	1

Tabla 2 – Resultados preliminares primer filtro artículos 2015-2019

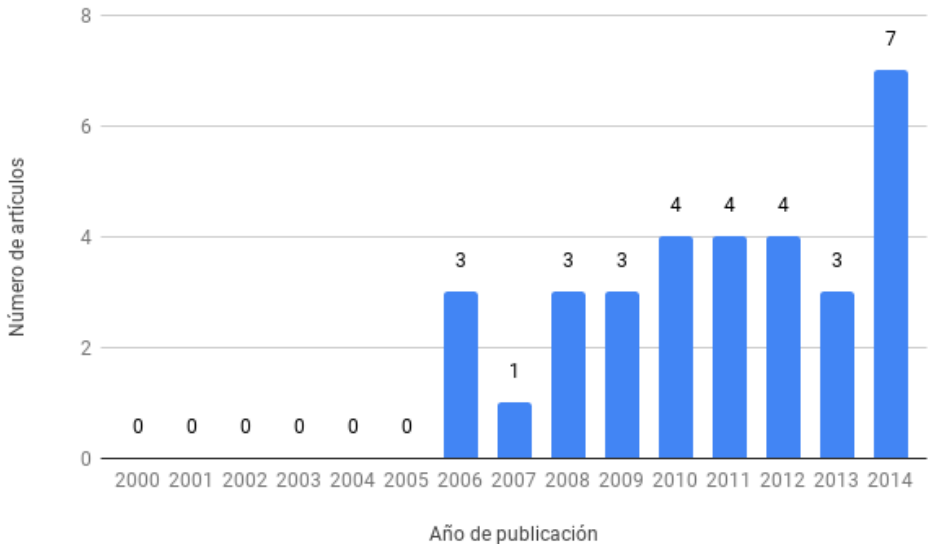


Figura 1 – Trabajos por año de publicación

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados iniciales obtenidos.

PI	Principales hallazgos	Principales resultados
PI1	47%: Genérico en el dominio de aplicación 13%: Válido solo para el dominio definido 40%: No es posible tomar una decisión	Existe una ausencia de una relación sólida entre las herramientas y un dominio de aplicación dado.
PI2	41%: FODA y variantes 9%: Modelo basado en cardinalidad 31%: Otros modelos 19%: No es posible tomar una decisión	El modelo FODA continúa dominando entre MC, pero la presencia de otros modelos subyacentes también muestra una presencia importante.

PI	Principales hallazgos	Principales resultados
PI3	53%: Originados en la academia 19%: De las necesidades de la industria 13%: Asociación academia-industria 15%: No especifican su origen	Solo algunas herramientas han surgido de la industria.
PI4	13%: Ninguna validación 31%: Ej. de juguete para validar la herramienta 44%: Herramienta aplicada a un proyecto en la industria 13%: Validación empírica	Hay una falta de validación empírica y esto se basa principalmente en ejemplos de ejecución.

Tabla 3 – Resumen de PI

Esquema de clasificación

Luego de seleccionar los trabajos y tener respuesta a las PI, se definieron tres dimensiones para realizar el esquema de clasificación: *tiempo, validación y modelo subyacente*.

Dimensión tiempo. Los trabajos se clasificaron de acuerdo al año de publicación, considerando trabajos desde el 2006 hasta el 2014 (para los resultados preliminares). Si bien el rango inicial comenzaba en el año 2000, no se encontraron trabajos anteriores al 2006.

Dimensión validación. Los trabajos se clasificaron de acuerdo al criterio definido para responder la PI4, considerando las categorías: nada (N/A), prueba de concepto basado en ejemplos de la literatura (PC-L), prueba de concepto basado en ejemplos de la literatura + soporte inicial de la herramienta (PC-LITS), prueba de concepto + prototipo de herramienta (PC-TP), prueba de concepto + soporte completo de herramienta (PC-FTS), prueba de concepto de la industria (PC-I) y experimentos (EXP).

Dimensión modelo subyacente. Los trabajos se clasificaron de acuerdo al criterio definido para responder la PI2, considerando las categorías: FODA y variantes, modelo basado en cardinalidad, otros y no se puede decidir (UTD).

De acuerdo al esquema de clasificación definido, se elabora el mapa presentado en la Figura 2.

4.2. Resultados análisis de calidad

Luego de revisar cada uno de los 32 trabajos seleccionados en busca de la herramienta de modelado de características utilizada, se obtuvieron 28 herramientas. Esta lista disminuyó a 26 luego de eliminar las duplicadas. Posteriormente para cada herramienta se buscó un sitio web en donde descargarla, de no tener éxito, se contactó directamente con los autores, obteniendo una versión de la herramienta. Sin embargo, no fue posible obtener todas las herramientas, principalmente porque: el sitio web estaba fuera de servicio, la descarga no funcionó bien o los autores no respondieron a nuestra solicitud. Ejemplo de dichos impedimentos fueron las herramientas: Document feature mapper tool, AORA tool, FeatureJS, GuideaTemplate, Theme/SPL, ABS Tool Suite, Feature Assembly Framework y Gears.

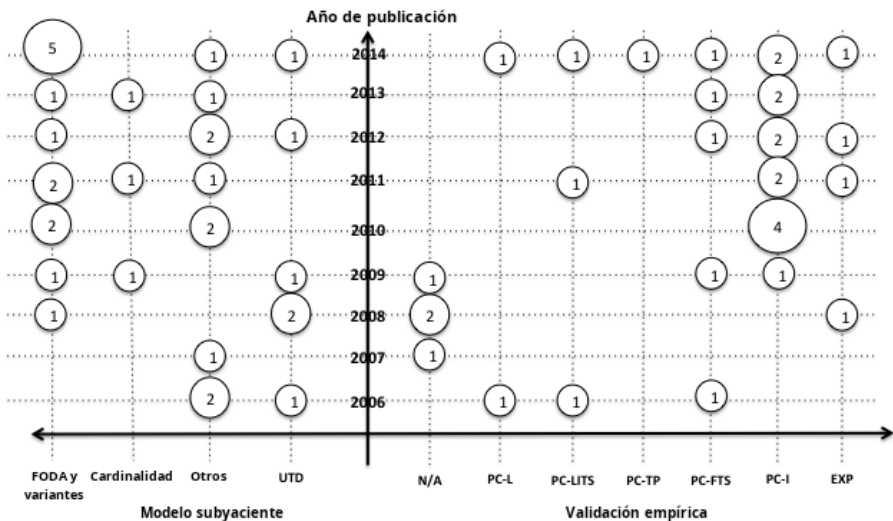


Figura 2 – Mapa para el esquema de clasificación definido

Tras el paso anterior, 18 herramientas pudieron ser descargadas. Luego, se intentó instalar y probar cada una de las herramientas, pero algunas dieron problemas con los complementos o las licencias. Ejemplo de esto fueron: REA Framework, CASE-FX for Rational Rose, Linux Kernel Configurator y Emergo.

La lista final incluyó 9 herramientas, las que fueron evaluadas mediante los criterios de calidad definidos en la sección 3. En la Tabla 4 se muestra un resumen con las principales características de las herramientas que efectivamente pudieron ser probadas.

Herramienta	Desarrollador	Licencia	Versión	URL
CIDE	C. Kastner, University of Magdeburg, Alemania.	GPL	2.0	http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/research/cide
FAMA Framework	Universidad de Sevilla, España.	GPL	1.1.2	http://www.isa.us.es/fama
FAMILIAR Project	Laboratoire d'informatique, Université Nice Sophia Antipolis, Francia.	GPL	1.1	http://familiar-project.github.io
FeatureIDE	Faculty of Computer Science, Workgroup Databases & Software Engineering, University of Madeburg, Alemania.	GPL	2.7.14	http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/research/featureide
Feature Mapper	Software Technology Group of Technische Universität Dresden, Alemania.	GPL	0.8.9	http://featuremapper.org
Feature modelling Tool	Research Group of GIRO at the University of Valladolid and Burgos in Spain.	GPL	0.6.6	http://www.giro.infor.uva.es/FeatureTool.html

Herramienta	Desarrollador	Licencia	Versión	URL
Kumbang	Software Business and Engineering Research & Education, Department of Computer Science and Engineering, Aalto University, Finlandia.	GPL	---	http://www.soberit.hut.fi/KumbangTools
S.P.L.O.T.	Computer Systems Group/Generative Software Development Lab., University of Waterloo, Canadá.	GPL	---	http://splot-research.org
VariaMos	Centre de Recherche en Informatique, Université Panthéon - Sorbonne, Paris 1, Paris, Francia.	GPL	1.0.17	http://variamos.com/home

Tabla 4 – Descripción de las herramientas seleccionadas

Con la evaluación realizada se crearon los siguientes esquemas de clasificación para evaluar la calidad de las herramientas seleccionadas.

Portabilidad: De acuerdo a la Tabla 5, siete herramientas calificaron como *excelente*, pues pudieron ser instaladas en los tres sistemas operativos seleccionados, lo que indica un alto nivel de portabilidad. Sólo dos herramientas calificaron como *deficiente*, ya que sólo están disponibles para Microsoft Windows.

Herramienta	Linux	OS X	MS Windows	Calificación
CIDE	✓	✓	✓	Excelente
FAMA Framework	✓	✓	✓	Excelente
FAMILIAR Project	✓	✓	✓	Excelente
FeatureIDE	✓	✓	✓	Excelente
Feature Mapper	✓	✓	✓	Excelente
Feature modelling Tool			✓	Deficiente
Kumbang			✓	Deficiente
S.P.L.O.T.	✓	✓	✓	Excelente
VariaMos	✓	✓	✓	Excelente

Tabla 5 – Evaluación de portabilidad para herramientas seleccionadas

Interoperabilidad: Según la Tabla 6, sólo hay una herramienta calificada de *excelente*, es decir, permite importar y exportar en los cuatro formatos establecidos. Cuatro herramientas están calificadas con *muy buena* interoperabilidad, dos con *buena* y otras dos están calificadas como *deficiente*.

Herramienta	IM	XM*	COH	OT	Calificación
CIDE	✓	✓		✓	Muy buena
FAMA Framework		✓	✓		Buena
FAMILIAR Project		✓	✓	✓	Muy buena
FeatureIDE	✓	✓	✓	✓	Excelente
Feature Mapper			✓	✓	Buena
Feature modelling Tool	✓	✓		✓	Muy buena
Kumbang				✓	Deficiente
S.P.L.O.T.		✓			Deficiente
VariaMos	✓		✓	✓	Muy buena
IM: Imagen (JPG, PNG, etc)			XM*: XML o XMI		
COH: Compatible con Otras Herramientas			OT: Otros formatos (PDF, DOC, etc)		

Tabla 6 – Evaluación de interoperabilidad para herramientas seleccionadas

Efectividad: La Tabla 7 indica que sólo una de las herramientas es calificada como *deficiente*, ya que requiere la ayuda de otras herramientas para realizar grupos y restricciones de funciones. Las ocho herramientas restantes calificaron con una efectividad *excelente*.

Herramienta	Características	Grupos	Restricciones	Calificación
CIDE	✓			Deficiente
FAMA Framework	✓	✓	✓	Excelente
FAMILIAR Project	✓	✓	✓	Excelente
FeatureIDE	✓	✓	✓	Excelente
Feature Mapper	✓	✓	✓	Excelente
Feature modelling Tool	✓	✓	✓	Excelente
Kumbang	✓	✓	✓	Excelente
S.P.L.O.T.	✓	✓	✓	Excelente
VariaMos	✓	✓	✓	Excelente

Tabla 7 – Evaluación de efectividad para herramientas seleccionadas

Verificabilidad: La Tabla 8 muestra que todas las herramientas califican con *buena* verificabilidad. Cabe señalar que si bien todas las herramientas presentan un registro de cambios, ninguna tiene la opción de guardar versiones de los datos administrados, lo cual es necesario al comparar o revisar la evolución de los modelos que se están desarrollando.

Herramienta	Registro de cambios	Administración de versión de datos	Calificación
<i>CIDE</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>FAMA Framework</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>FAMILIAR Project</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>FeatureIDE</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>Feature Mapper</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>Feature modelling Tool</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>Kumbang</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>S.P.L.O.T.</i>	✓		<i>Buena</i>
<i>VariaMos</i>	✓		<i>Buena</i>

Tabla 8 – Evaluación de verificabilidad para herramientas seleccionadas

Finalmente, para las 9 herramientas seleccionadas, se destaca que éstas se distribuyen bajo alguna variante de licencia GPL² y se desarrollaron en la academia. En cuanto a su origen, se puede ver que 8 de éstas se desarrollaron en Europa (3 en Alemania, 2 en España, 2 en Francia y 1 en Finlandia) y solo una en América del Norte (Canadá).

4.3. Discusión

Respecto de los antecedentes recopilados para responder a cada una de las PI definidas en el mapeo sistemático, es posible argumentar que:

- El que no haya un nexo directo entre herramienta y dominio específico, podría entenderse como una característica que aumente la adopción de algunas de estas propuestas, ya que aumenta su adaptabilidad a diferentes entornos de desarrollo.
- El que las herramientas hayan sido desarrolladas principalmente en la academia podría indicar por un lado, que la industria no es consciente de las posibilidades y ventajas de las herramientas para MC que requieren sus LPS y que la industria no haya experimentado las supuestas ventajas que conllevan. Por otro lado, podría entenderse cómo que la academia no se ha desarrollado soluciones que sean necesarias para problemas en ámbitos industriales.
- En cuanto al tipo de validación al que han sido sometidas las herramientas, es posible afirmar que existe una necesidad de mejorar las formas de validación. Por lo tanto, se requieren otros tipos de investigación cuantitativa/cualitativa para apoyar a los profesionales a decidir qué herramientas se adaptan mejor a sus necesidades.

Respecto a la evaluación de calidad realizada a las herramientas, es posible argumentar que:

- La excelente portabilidad presente en la mayoría de las herramientas, podría significar que hay una preocupación de parte de los autores para presentar

² <https://www.gnu.org/licenses/>

propuestas que abarquen la mayor cantidad de plataformas posibles y que esto beneficie el uso de sus herramientas.

- Los dispares resultados obtenidos en la interoperabilidad de las herramientas podría significar que no hay una estandarización en la comunidad de MC y LPS a la hora de definir los formatos que deben manejar las herramientas, por lo que cada uno desarrolla los que cree necesarios.
- La excelente efectividad que presentan las herramientas en general, podría deberse a que los desarrolladores apuntan a cumplir con parámetros mínimos al desarrollar sus propuestas con el propósito de establecer un estándar entre este tipo de herramientas.
- Los resultados obtenidos en la verificabilidad de los datos hacen ver que es necesario que las herramientas presenten propuestas que permitan la administración de versiones.

La respuesta a estas interrogantes excede los alcances de este trabajo y debiera ser tema de un análisis más minucioso.

5. Trabajos relacionados

A continuación se presenta un conjunto de trabajos relacionados, ordenados cronológicamente, que agrupan y evalúan la evidencia disponible para el modelado de características y análisis de herramientas de modelado. Inicialmente se han identificado cinco trabajos. Soluciones para LPS en el ámbito de análisis del dominio publicadas hasta el año 2007, se presentan en (Khurum & Gorschek, 2009). Una evaluación inicial para herramientas de modelado de características con propuestas publicadas hasta el año 2009, se puede ver en (El Dammagh & De Troyer, 2011). Un conjunto de herramientas de soporte para el análisis del dominio publicadas hasta el año 2006, son revisadas en (Lisboa *et al.*, 2010). Un estudio sobre la ingeniería de requerimientos para LPS, con propuestas publicadas hasta el año 2009, se muestra en (Alves *et al.*, 2010). Finalmente, un análisis de herramientas CASE para modelado de variabilidad publicadas hasta el año 2014, se presenta en (Bashroush *et al.*, 2017).

La Tabla 9 muestra como los trabajos relacionados responden a las PI de este mapeo.

Referencia	PI1	PI2	PI3	PI4
(El Dammagh & De Troyer, 2011)			✓	
(Khurum & Gorschek, 2009)	✓		✓	✓
(Lisboa <i>et al.</i> , 2010)	✓		✓	✓
(Alves <i>et al.</i> , 2010)				✓
(Bashroush <i>et al.</i> , 2017)			✓	

Tabla 9 – PI abordados en documentos anteriores

Esta propuesta comparte con los trabajos mencionados tanto el contexto, esto es: LPS y el modelado de características, así como el aspecto metodológico en el uso de un estudio secundario para recolectar y evaluar la evidencia. Sin embargo las diferencias

que se pueden destacar, además del intervalo temporal en nuestra propuesta, son la evaluación cuantitativa de los resultados, el análisis del dominio de aplicación y el modelo subyacente de las herramientas evaluadas y, el análisis de calidad inicial para las herramientas seleccionadas.

6. Conclusiones

El artículo presentó la primera versión de los resultados de un estudio que revisa las principales consideraciones a las herramientas de modelado de características para LPS. Este estudio consideró un mapeo sistemático, incluyendo 32 trabajos que proponen herramientas de modelado de características o reportan experiencias de su uso, publicados entre los años 2000 y 2014. Además, se realizó una evaluación de calidad inicial para las herramientas seleccionadas, para lo cual se definieron cuatro indicadores de calidad: portabilidad, interoperabilidad, efectividad y verificabilidad.

Como principales resultados del estudio de mapeo sistemático es posible afirmar que no existe una relación fuerte entre dominio particular de aplicación y herramientas de modelado. Por otro lado, fue posible concluir que el modelo FODA sigue dominando entre los MC. Finalmente, muy pocas herramientas se han originado desde la industria y se observa una falta considerable de validación empírica de las propuestas.

Por otro lado, nueve fueron las herramientas evaluadas acorde a los parámetros de calidad definidos. Se destaca que en general existe una excelente portabilidad, respecto de la interoperabilidad, ésta arrojó resultados dispares. En tanto la efectividad fue excelente en casi todos los casos. Si bien la verificabilidad de las herramientas es calificada como buena, en ningún caso se alcanza la puntuación máxima.

Como trabajo futuro se considera en primer lugar finalizar la revisión (actualmente en desarrollo), de las propuestas de MC, incorporando trabajos y herramientas publicadas hasta 2019. Segundo, se realizará un análisis de calidad más exhaustivo a las herramientas seleccionadas. Finalmente, se considera usar un set de casos de estudio con MC tomados de la literatura, que permita comparar las herramientas con una propuesta propia llamada FMxx³ (Esperguel, Sepúlveda y Monsalve, 2017).

Agradecimientos

Dr. Samuel Sepúlveda agradece a la Ing. Andrea Rivera y al Dr. Pedro Rossel por el soporte brindado durante el desarrollo de este trabajo.

Alonso Bobadilla agradece el apoyo financiero de CONICYT-PFCHA/MagísterNacional/2019-22190702.

Referencias

Ahmed, F., & Capretz, L. F. (2008, May). Best practices of RUP® in software product line development. In *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering* (pp. 1363-1366). IEEE.

³ <http://estocolmo.ceisufro.cl>

- Alves, V., Niu, N., Alves, C., & Valença, G. (2010). Requirements engineering for software product lines: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 52(8), 806-820.
- Andersen, N., Czarnecki, K., She, S., & Wasowski, A. (2012, September). Efficient synthesis of feature models. In *SPLC (1)* (pp. 106-115).
- Bachmann, F., & Clements, P. C. (2005). *Variability in software product lines* (No. CMU/SEI-2005-TR-012). CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST.
- Bashroush, R., Garba, M., Rabiser, R., Groher, I., & Botterweck, G. (2017). Case tool support for variability management in software product lines. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(1), 14.
- Bécan, G., Ben Nasr, S., Acher, M., & Baudry, B. (2014, September). WebFML: synthesizing feature models everywhere. In *Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference: Companion Volume for Workshops, Demonstrations and Tools-Volume 2* (pp. 112-116). ACM.
- Casalánguida, H., & Durán, J. E. (2012, September). Automatic generation of feature models from UML requirement models. In *Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference-Volume 2* (pp. 10-17). ACM.
- Chen, L., & Babar, M. A. (2011). A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines. *Information and Software Technology*, 53(4), 344-362.
- Classen, A., Heymans, P., & Schobbens, P. Y. (2008, March). What's in a feature: A requirements engineering perspective. In *International Conference on Fundamental Approaches to Software Engineering* (pp. 16-30). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Clements, P., & Northrop, L. (2001). *Software product lines. Practices and patterns* (3rd Ed.). Boston, MA: Addison-Wesley.
- Czarnecki, K., Helsen, S., & Eisenecker, U. (2005). Formalizing cardinality-based feature models and their specialization. *Software process: Improvement and practice*, 10(1), 7-29.
- El Dammagh, M., & De Troyer, O. (2011, October). Feature modeling tools: evaluation and lessons learned. In *International Conference on Conceptual Modeling* (pp. 120-129). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Esperguel, M., Sepúlveda, S., & Monsalve, E. (2017, October). FMxx: A proposal for the creation, management and review of feature models in software product lines. In *2017 36th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)* (pp. 1-7). IEEE.
- Faulk, S. R. (2001, August). Product-line requirements specification (PRS): An approach and case study. In *Proceedings Fifth IEEE International Symposium on Requirements Engineering* (pp. 48-55). IEEE.

- Frakes, W. B., & Kang, K. (2005). Software reuse research: Status and future. *IEEE transactions on Software Engineering*, 31(7), 529-536.
- Galster, M., Weyns, D., Tofan, D., Michalik, B., & Avgeriou, P. (2013). Variability in software systems—a systematic literature review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 40(3), 282-306.
- ISO, I. (2005). IEC 25001 Software and system engineering—Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Evaluation Planning and Management. *International Organization for Standarization*.
- Kang, K. C., Cohen, S. G., Hess, J. A., Novak, W. E., & Peterson, A. S. (1990). *Feature-oriented domain analysis (FODA) feasibility study* (No. CMU/SEI-90-TR-21). Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Software Engineering Inst.
- Khurum, M., & Gorschek, T. (2009). A systematic review of domain analysis solutions for product lines. *Journal of Systems and Software*, 82(12), 1982-2003.
- Lisboa, L. B., Garcia, V. C., Lucrédio, D., de Almeida, E. S., de Lemos Meira, S. R., & de Mattos Fortes, R. P. (2010). A systematic review of domain analysis tools. *Information and Software Technology*, 52(1), 1-13.
- Lisboa, L. B., Li, J. J., Morreale, P., Heer, D., & Weiss, D. M. (2014, April). An evaluation to compare software product line decision model and feature model. In *2014 9th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)* (pp. 1-8). IEEE.
- McGregor, J. D., Muthig, D., Yoshimura, K., & Jensen, P. (2010). Guest editors' introduction: Successful software product line practices. *IEEE software*, 27(3), 16-21.
- Morgan, L. O., Morgan, R. M., & Moore, W. L. (2001). Quality and time-to-market trade-offs when there are multiple product generations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 3(2), 89-104.
- Ortega, M., Pérez, M., & Rojas, T. (2003). Construction of a systemic quality model for evaluating a software product. *Software Quality Journal*, 11(3), 219-242.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1-18.
- Pohl, K., Böckle, G., & van Der Linden, F. J. (2005). *Software product line engineering: foundations, principles and techniques*. Springer Science & Business Media.
- Riebisch, M., Streitferdt, D., & Pashov, I. (2003, July). Modeling variability for object-oriented product lines. In *European Conference on Object-Oriented Programming* (pp. 165-178). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rojas, T., Pérez, M., Grimán, A., Ortega, M., & Diaz, A. (2000). Modelo de decisión para soportar la selección de herramientas CASE. *Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV*, 15(2), 117-144.

- Sepúlveda, S., Cares, C., & Cachero, C. (2013, November). An overview of syntactic and semantic issues in software product lines. In *2013 32nd International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)* (pp. 11-15). IEEE.
- Sepúlveda, S., Cravero, A., & Cachero, C. (2016). Requirements modeling languages for software product lines: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 69, 16-36.
- Sepúlveda, S., & Rivera, A. (2019). Systematic Mapping Protocol Feature Modeling Tools. *arXiv preprint arXiv:1907.08076*.
- She, S., Lotufo, R., Berger, T., Wąsowski, A., & Czarnecki, K. (2011, May). Reverse engineering feature models. In *Proceedings of the 33rd International Conference on Software Engineering* (pp. 461-470). ACM.
- Sommerville, I. (2015). *Software Engineering (10th Ed.)*, Addison Wesley.
- Vale, T., de Almeida, E. S., Alves, V., Kulesza, U., Niu, N., & de Lima, R. (2017). Software product lines traceability: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 84, 1-18.
- Weiss, D. M., Li, J. J., Slye, H., Dinh-Trong, T., & Sun, H. (2008, September). Decision-model-based code generation for SPLE. In *2008 12th International Software Product Line Conference* (pp. 129-138). IEEE.

Ecosistema Virtual Gamificado de Francisco José de Caldas

Ana María Caviades Castillo¹, Víctor Rene Zuleta Chantre², Eleonora Palta Velasco³, Katerine Márceles Villalba⁴

anamariacaviades@unimayor.edu.co, viictoorzuleta@unimayor.edu.co, eleonorapalta@unimayor.edu.co, kmargeles@unimayor.edu.co

^{1, 2, 3, 4}Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Carrera 7 N° 2-34 Edificio Bicentenario, 190003, Popayán- Cauca, Colombia.

Pages: 139–150

Resumen: El proyecto se encamina a la construcción de una aplicación móvil de realidad aumentada de temática centrada en el turismo en el sector histórico de la ciudad de Popayán. Se desarrolla en torno a la historia de los próceres de la ciudad, comunicada mediante una experiencia tecnológica que complementa la percepción del turista. La aplicación está dirigida principalmente a mejorar la experiencia del usuario en el sector turístico en la ciudad de Popayán enriqueciendo con información complementaria sobre la relevancia histórica del prócer Francisco José De Caldas. El uso de la aplicación requerirá del acceso a los periféricos físicos del dispositivo móvil.

Palabras-clave: realidad aumentada; próceres; turismo; Design Thinking.

Gamified Virtual Ecosystem of Francisco José de Caldas

Abstract: The project is aimed at the construction of an augmented reality mobile application focused on tourism of the historic sector the Popayan city. It is developed around the history of the heroes of the city, communicated through a technological experience that complements the tourist's perception. The application is mainly aimed at improving the user experience in the tourist sector in the city of Popayan enriching with additional information on the historical relevance of the hero Francisco José De Caldas. The use of the application will require access to the physical peripherals of the mobile device.

Keywords: Augmented reality; heroes; tourism; Design Thinking.

1. Introducción

En la ciudad de Popayán uno de los sectores económicos de mayor crecimiento en los últimos años es el sector del turismo que ha incrementado desde el 2016 su actividad en un 483% siendo la semana santa el principal periodo de visita de turistas a la ciudad en especial con turistas nacionales y extranjeros provenientes de países como

Alemania, Francia, Estados Unidos, España entre otros (SITUR, 2018). Uno de los mayores atractivos turísticos de la ciudad de Popayán es su sector histórico constituido por construcciones del siglo XVII conservadas a través del tiempo, viejas casonas donde habitaron familias ilustres que contribuyeron al desarrollo del país y cuyos hijos se consideran próceres libertadores de Colombia, es por ello por lo que se encuentran monumentos en su honor pero que aportan poca información al momento de que son visitados por turistas.

La aplicación PRÓCER 3D quiere enaltecer y complementar la experiencia del visitante a los monumentos de la ciudad mediante el uso de la tecnología de realidad aumentada que brindara información, fechas, datos relevantes del personaje histórico que visita. La finalidad del proyecto es aportar una herramienta móvil que enriquezca y facilite la experiencia del turista en la ciudad, generando contextos críticos y educativos.

2. Aspectos generales

Este proyecto se cataloga en el sector tecnológico de aplicaciones móviles mediante el uso de realidad aumentada y temática focalizada en la historia de los próceres de la ciudad de Popayán comunicada de manera eficiente y didáctica sus logros e importancia para la historia. Se selecciona esta temática con el fin de fortalecer uno de los sectores de mayor crecimiento en los últimos años de la región: el turismo, brindando una nueva alternativa para todas las personas que visitan Popayán.

El primer caso de uso propuesto es el prócer Francisco José de Caldas considerado un hijo emblemático de la ciudad de Popayán quien tiene destinado un monumento en el parque principal de la ciudad. PRÓCER 3D permite el desarrollo de una aplicación móvil que brinde información relacionada con la vida y obra de Francisco José de Caldas mediante el uso de la tecnología de realidad aumentada. Para poder llevar a cabo este objetivo se realiza un análisis del entorno de aprendizaje identificando las características del desarrollo móvil en su componente de realidad aumentada, y que en el parámetro de antecedentes se observa los avances y aplicaciones de dicha tecnología.

El apropiarse la información a las personas interesadas por medio de tecnologías emergentes, es uno de los objetivos buscados con este proyecto donde mediante la realidad aumentada se pueda contextualizar a cliente (turista) sobre la historia del lugar que visita, brindando la mejor información posible en este caso del prócer Francisco José de Caldas y hacerlo de una manera dinámica e interactiva con el uso de la realidad aumentada de un avatar de este que interactúe con el cliente.

Al finalizar se evaluará la aceptación del producto elaborado mediante un estudio de usabilidad propuesto a turistas que visiten el monumento interactúen con la aplicación y validar de una manera práctica la conceptualización del proyecto.

3. Antecedentes

Para el estudio del proyecto ecosistema virtual gamificado de Francisco José De Caldas se estudiaron las aplicaciones relacionadas con el desarrollo de la tecnología de realidad aumentada enfocadas en la educación o que son pioneras en la aplicación de esta

tecnología. Haciendo un análisis de las aplicaciones en los contextos de funcionalidad, características, temática diseño y desempeño. La funcionalidad de captura de espacio de desarrollo en la realidad aumentada se usa el reconocimiento mediante el uso de marcadores como el desarrollado en el proyecto de **Factibilidad tecnológica de aplicar realidad aumentada en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas** (Núñez, 2014). Esta investigación evalúa la factibilidad tecnológica de aplicar la Realidad Aumentada en la carrera Ingeniería en Ciencias Informáticas de la Universidad de Granma, mediante pruebas funcionales a un prototipo de herramienta de autor de contenidos de Realidad Aumentada. Se eligió la metáfora de visualización de espejo, el reconocimiento mediante marcadores para la identificación de la escena y OsgART como componente de software principal. El prototipo permite añadir un marcador a la escena y asociarle un número arbitrario de objetos virtuales tridimensionales previamente diseñados.

El proyecto debe de reflejar un componente pedagógico, buscando que la información sea asociada, comprendida e interiorizada, impactando en la experiencia del turista, la realidad aumentada es una herramienta que incide en el concepto de dinámica y motivación al ser innovadora como se evidencia en el trabajo **Juegos Serios Basados En Técnicas De Interacción De Realidad Aumentada Tangible Para La Rehabilitación Cognitiva** donde se desarrolla un software que agrupa juegos serios basados en diferentes técnicas de interacción de Realidad Aumentada Tangible, sustentado en ejercicios terapéuticos tradicionales concebidos en los programas de rehabilitación cognitiva, donde se puede evidenciar de manera positiva la motivación de los pacientes mediante el uso de la dinámica de la realidad aumentada. Para el desarrollo del programa se utilizó la biblioteca osgART que integra el motor gráfico Open Scene Graph y la biblioteca ARTToolKit, todas tecnologías libres, multiplataforma y de código abierto. Las técnicas empleadas para la interacción con los elementos virtuales están basadas en el uso de marcadores fiduciales de ARTToolKit. El resultado fue analizado mediante el cálculo de la ANOVA de un factor, el cual evidenció que los juegos serios basados en las técnicas de interacción desarrolladas inciden de manera positiva en la motivación de los pacientes (Otros, 2018)

La idea general es preservar el patrimonio histórico de la ciudad de Popayán, mediante el uso de la tecnología de realidad aumentada generando un valor agregado a los sitios emblemáticos de la ciudad, como lo hecho en el trabajo de **Integración de Metodologías Geomáticas y Creación de una Aplicación Patrimonial Usando realidad Aumentada** que mediante el análisis de datos láser de la iglesia de San Nicolás en el centro del pueblo, y utilizando el láser escáner Faro Focus3D y el Riegl LMS420i y análisis georradar para resaltar cualquier objeto enterrado. Los resultados se usan para realizar un trabajo de una aplicación turística en entornos de realidad virtual y aumentada que permita difundir y apreciar el patrimonio cultural. Por consiguiente, la aplicación mencionada se ha implementado de manera que permita al usuario ver el modelo 3D y la información en realidad aumentada. Con la realidad aumentada, de hecho, intentamos que haya más información disponible de otros repositorios integrándolos con monumentos, bellezas naturales, rincones característicos, creando así las condiciones para una visita inmersiva, en el caso aquí propuesto la iglesia de San Nicolás. (Vincenzo Barrilea, 2019).

Dentro de las dificultades que se encontraron en el proyecto se consideraron elementos de tipo hardware (modelo de móviles, tabletas, cámaras, etc) como de software (sistemas operativos) que tienen que ser considerados al momento del desarrollo y que impactan en la experiencia de usuario. Estos elementos son comunes en este tipo de desarrollo como lo expresa el trabajo **La realidad aumentada: lo que debemos conocer** que realiza un estudio de la actualidad de la tecnología de realidad aumentada que emite unas consideraciones a tener en cuenta como mejorar la velocidad de integración entre la realidad aumentada y los dispositivos, así como la variable en costo debido a que no todos pueden acceder a la compra de dichos dispositivos. Además, la percepción del ojo humano ante la realidad es incomparable aún con la de cualquier dispositivo, esto constituye una barrera de entrada al mercado de este gran desarrollo en innovación. (Bello, 11/7/17).

Para el desarrollo de este proyecto se utilizan los tres recursos tecnológicos como los patrones de disparo del software, la geolocalización y la interacción con Internet que se encuentran establecidos en el trabajo de realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles (Javier Fombona Cadavieco, 2012)

Según el trabajo **Análisis de tendencias: Realidad Aumentada y Realidad Virtual**. (“Riobó Iglesias, 2015) se observa un crecimiento en los artículos publicados como lo muestra la siguiente Ilustración 1. Evolución temporal del nº de patentes con keywords “Augmented Reality”, lo que demuestra la pertinencia de este trabajo en cuanto a tendencia de la aplicación.

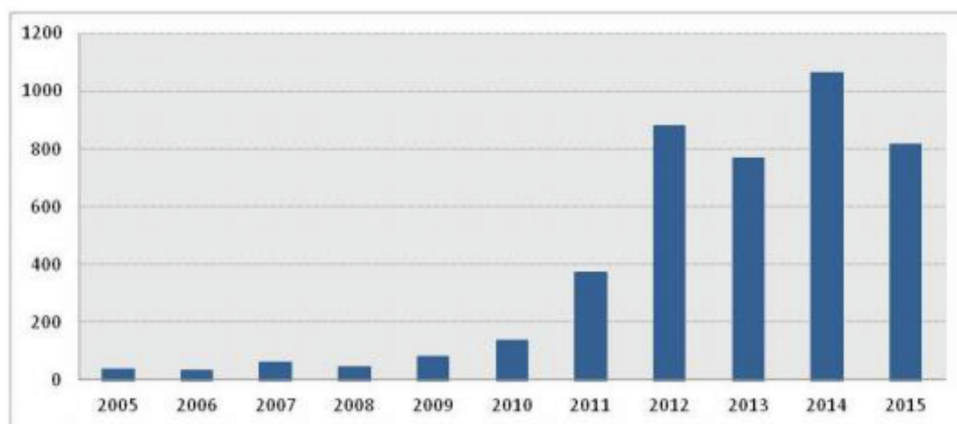


Ilustración 1 – Evolución temporal del nº de patentes con keywords “Augmented Reality”.
Fuente: (Riobó Iglesias, 2015)

4. Metodología

El proceso de Design Thinking se compone de cinco etapas. No es lineal. En cualquier momento se podrá ir hacia atrás o hacia delante si es oportuno, saltando incluso a etapas no consecutivas. Se iniciará recolectando información, generando una gran cantidad de contenido, que crecerá o disminuirá dependiendo de la fase en la que se encuentre.

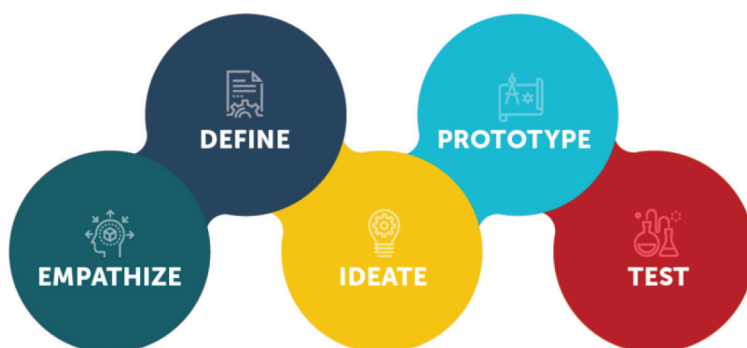


Ilustración 2 – Ciclo de vida del producto (Jobientation, 2019)

EMPATIZA: Comienza con una profunda comprensión de las necesidades de los usuarios implicados en la solución a desarrollar, y también de su entorno. Debe ser capaz de entender a estas personas y generar soluciones consecuentes a su entorno. Esta etapa se realiza mediante la técnica investigación de referentes donde el objetivo principal es conocer proyectos inspiradores investigando a través de internet, lecturas de revistas o proyectos e iniciativas que, sin ser una competencia directa, puedan servir de inspiración para tomar decisiones sobre distintos aspectos del proyecto.

DEFINE: Durante la etapa de Definición, se debe seleccionar la información recopilada durante la fase de Empatía apropiándose con lo que realmente aporta valor y lleva al alcance de nuevas perspectivas. Identificando problemas cuyas soluciones serán clave para la obtención de un resultado innovador. Utilizando la herramienta diagrama de prioridades como objetivo es definir la precedencia de las acciones que se van a realizar en el proyecto. Ubicando cada uno de los elementos consensuados en el diagrama con forma de diana, para decidir cuál será el orden de acción. Los elementos con mayor prioridad se sitúan cercanos al centro, pasando lo contrario con las acciones que sean secundarias. Como se muestra en la siguiente ilustración.

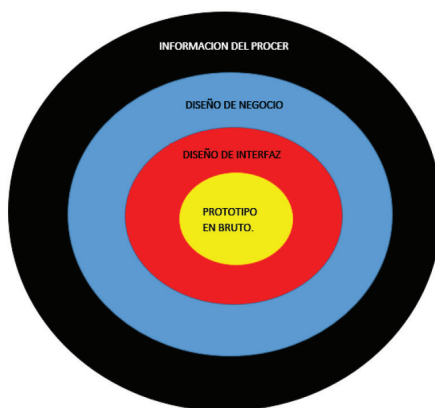


Ilustración 3 – Diagrama De Prioridades

IDEA: La etapa de Ideación tiene como objetivo la generación de un sinnúmero de opciones. En esta fase, las actividades favorecen el pensamiento expansivo y la eliminación de los juicios de valor. El prototipo en bruto es una herramienta que permite agilizar la definición de ideas o posibles soluciones, mejorando la interacción entre los miembros del equipo y definiendo ideas concisas a desarrollar. En esta etapa se generó el primer prototipo del proyecto obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente ilustración.



Ilustración 4 – Primer Prototipo

PROTOTIPA: En la etapa de Prototipado se convierten las ideas en realidad. Construir prototipos hace las ideas palpables y ayuda a visualizar las posibles soluciones, poniendo de manifiesto elementos que se deben mejorar o refinar antes de llegar al resultado final. En esta etapa se realizó el prototipo final como se observa en la ilustración 5 y 6.

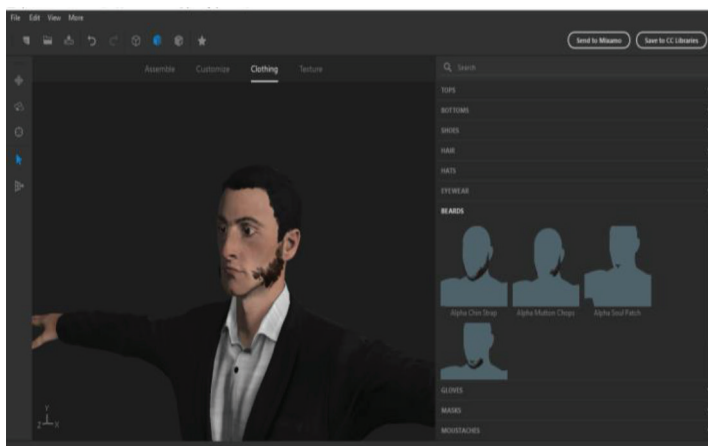


Ilustración 5 – Prototipo final PROCER 3D



Ilustración 6 – Esquema PROCER 3D

TESTAR: Durante la fase de Testeo, se realiza la prueba del prototipo con los usuarios implicados en la solución que se está desarrollando. Esta fase es crucial, y ayuda a identificar mejoras significativas, fallos a resolver, posibles carencias. Durante esta fase evoluciona la idea hasta convertirla en la solución deseada. En esta última fase se realizó una prueba análisis de opinión donde se reunieron un grupo de usuarios para que mediante el archivo PROCER 3D.apk probaran la aplicación en el parque caldas de la ciudad de Popayán, quienes lo probaron y compartieron su opinión.



Ilustración 7 – Prueba PROCER 3D

5. Analisis de resultados

Los resultados de la evaluación del análisis de opinión, de la aplicación Prócer 3D, se evaluaron en un entorno de campo abierto, acorde a los parámetros de usabilidad, aceptación y grado de satisfacción del panel de usuarios propuesto. A continuación, se describe el perfil de los resultados obtenidos. El grupo de participantes se compuso de 7 individuos en su mayoría mujeres, de edades entre 20 a 40 años, en su mayoría oriundos de la ciudad de Popayán.



Ilustración 8 – Resultados Genero y Edad.

El ejercicio se realizó mediante la transferencia del archivo de Procer3D.apk debido a que la aplicación no se encuentra actualmente en la tienda virtual de la plataforma Android. es una versión ejecutable de la aplicación desarrollada para dispositivos móviles que cuenten con sistema operativo Android, por ser el escogido por su facilidad y distribución mayoritaria en el mercado. Esta etapa de instalación no se presentó problemas en la asociación del aplicativo a las diferentes versiones de Android en las que se contaban desde la versión 6.0 Marshmallow hasta la versión 9.0 Pie.

Posteriormente se evaluó el comportamiento del aplicativo en cada una de las características desarrolladas: reproducir el mensaje de audio, capturar el marcador, mostrar el prócer. El primer ítem evaluado de reproducir el audio asociado a la aplicación que da la bienvenida y genera un vínculo con el usuario, se observa que en los dispositivos es audible y comprensible el mensaje y se recomienda anexar un audio de instrucciones de manejo de la aplicación que ayude a comprender mejor el funcionamiento del sistema.

El segundo ítem evaluado es el de la captura del marcador, donde se evidencia que hay una buena interacción de la aplicación con la cámara del dispositivo móvil, permitiendo la captura de imágenes. Se establecieron tres tipos de marcadores ubicados en el monumento ubicado en el parque caldas que inician actividades diferentes en el sistema, los cuales se evidencia en la Ilustración 9. Marcadores

De los marcadores se tiene resultados positivos ya que son fácilmente captadas por la aplicación en buenas condiciones de luz, ya que se evidencio que en horas de poca luz o luz nocturna tardaba más en captar los marcadores y generar las acciones de respuesta del sistema.



Ilustración 9 – Marcadores

Mostar el prócer es la respuesta que genera el sistema, este también posee tres tipos de respuesta de acuerdo con el marcador: el primer marcador (flor del monumento), ejecuta la animación de los personajes de Francisco José de caldas, y de la anfitriona de la aplicación, que permanecen en pantalla mientras se enfoque el marcador. La segunda respuesta es al marcador de la inscripción frontal del monumento, donde el personaje de Francisco José de Caldas realiza un relato de su vida y obra más relevante. La ultima repuesta del sistema se activa en el marcador ubicado en el costado donde se ubica la firma del prócer, donde se activa la animación de Francisco José de Caldas quien realiza los gestos para realizar una fotografía con el usuario. De esta acción del sistema se evidencia, que funcionan acorde a la interacción con el marcador, pero limitado a las condiciones de luz y ángulo de la cámara. Los problemas encontrados en el análisis de opinión son: la falta de un menú que indique las acciones posibles a realizar dentro de la aplicación, concretamente en el último marcador no realizar una correcta interacción con la aplicación de la cámara para la toma de fotografía. En algunos casos sobrepuso las imágenes y animaciones de la aplicación en un mismo marcador, debido a la interrelación de los marcadores que no estaban bien definidos.

El análisis de la experiencia del panel de usuarios genero gran expectativa hacia el futuro de la aplicación, considerándola divertida e innovadora, aunque resaltaron que debe tener mejoras a futuro. Los resultados se evaluaron con una evaluación post test. En cuanto a la satisfacción del usuario se tiene una mayoría en grado Medio Alto, teniendo en cuenta su relación con la información brindada que en algunos casos desconocía y que al ser transmitida a través del personaje en realidad aumentada fue mejor asimilada.

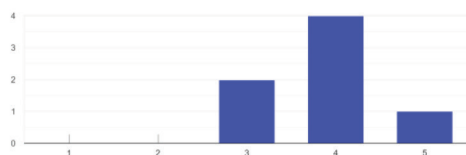
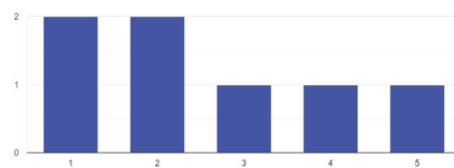
Su grado de satisfacción en cuanto a la información brindada de la aplicación es:
7 respuestasSu grado de satisfacción en cuanto a la interfaz de la aplicación fue:
7 respuestas

Ilustración 10 – Resultados Preguntas de Satisfacción

Estos resultados expuestos en la Ilustración 10. Resultados Preguntas de Satisfacción, muestra una tendencia dividida en cuanto a la medición ya que, aunque la información que se brinda es satisfactoria y cumple con su objetivo principal de dar a conocer la historia, vida y obra del prócer, la interfaz de la aplicación resulta aun muy ineficiente en cuanto a términos de diseño y usabilidad por parte de los participantes reflejándose en una mayoritaria de insatisfacción en este aspecto.

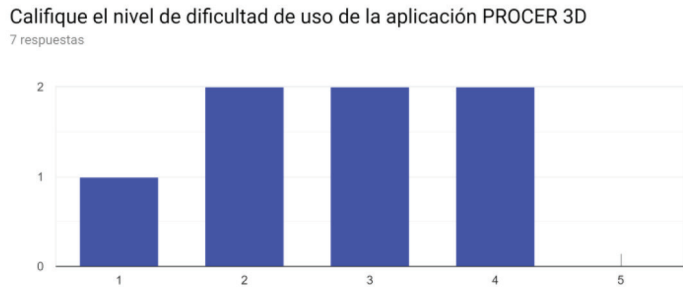


Ilustración 11 – Nivel de dificultad Procer 3D

El grado de dificultad de uso de la aplicación se encuentra dispersa, tanto por el concepto de la aplicación de uso de la realidad aumentada así como el nivel de innovación presentada, el diseño de la aplicación no presenta guías o instrucciones lo que permitiría mejorar estos índices que se expresan en la Ilustración 11. Nivel de dificultad Procer 3D.

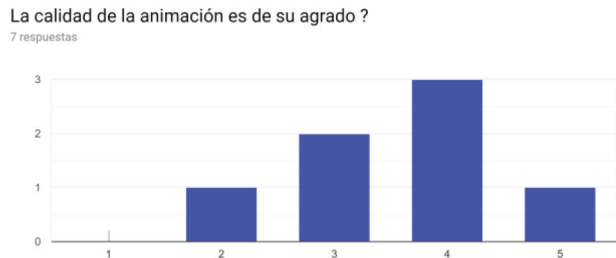


Ilustración 12 – Grado de calidad de Animación

El ultimo parámetro que se evalúa, es el relacionado con la calidad de los gráficos presentados, y cuyos resultados se observan en la Ilustración 12. Grado de calidad de Animación alcanzando un mayoritario resultado positivo en cuanto el agrado de las animaciones, texturas y movimientos presentes en las dos animaciones virtuales de la aplicación Procer3D.

Dentro de las mejoras propuestas por el panel la más notable es la introducción de un menú que brinde información relevante y permita una mejor ubicación del usuario

dentro del sistema. La mejora de la interfaz es también propuesta por el panel para realizarla de forma más dinámica y agradable. La aplicación resulta ser muy llamativa para los usuarios en cuanto a temáticas y contenido y se espera un desarrollo mas amplio en cuanto a otros tipos de personajes o sitios emblemáticos de la ciudad de Popayán.

6. Conclusiones

- La tecnología de realidad aumentada es un campo actual de gran potencial en todas las áreas del conocimiento, por su versatilidad al momento de comunicar una idea o concepto, específicamente en el área del turismo se evidencia lo didáctico y versátil que resulta al transmitir información específica sobre los acontecimientos históricos alrededor de la vida del sabio Francisco Josep de Caldas.
- la aplicación Prócer 3D resalta de manera divertida y pedagógica aspectos de personajes históricos de la ciudad de Popayán contribuyendo a generar una experiencia agradable a propios y visitantes mediante el uso de la tecnología de realidad aumentada.
- El desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada en su versión móvil requiere de permisos específicos del hardware (cámara, geolocalización, Wifi, captura de fotografías, etc.), siendo muy exigente al momento de solicitar permisos en el dispositivo. Una de las técnicas exploradas para reducir este inconveniente en la realidad aumentada es el uso patrones de diseño generados en el lugar de interés, reduciendo la complejidad y recursos necesarios.
- La aplicación prócer 3D presenta una latencia de milisegundos teniendo en cuenta la luminosidad del ambiente y el enfoque del dispositivo móvil del usuario.
- El proceso de desarrollo Design Thinking es un marco de trabajo ágil que se enfoca principalmente en identificar y conocer el punto de vista del usuario final (Empatiza), permitiendo generar artefactos de desarrollo fieles a las necesidades y expectativas del cliente.
- Las metodologías ágiles al no ser lineales permite generar productos testeadles beta (prototipo), los cuales son tempranamente evaluadas por el cliente permitiendo realizar mejoras o ajustes antes de la etapa de despliegue y entrega.

Referencias

- Bello, C. R. (11/7/17). La realidad aumentada: lo que debemos conocer. *TIA*, 257-261.
- Design Thinkin en español. (25 de Abril de 2019). *Design Thinkin*. Obtenido de Design Thinkin: <http://www.designthinking.es/inicio/index.php?fase=testea>
- Javier Fombona Cadavieco, M. Á. (2012). REALIDAD AUMENTADA, UNA EVOLUCIÓN DE LAS APLICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS MÓVILES. *Pixel-Bit.*, 197-210.
- Nuñez, Y. J. (2014). FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE APLICAR REALIDAD AUMENTADA EN LA CARRERA INGENIERÍA EN INFORMATICA. *3 CIENCIAS*, 228-239.

- Otros, J. A. (2018). JUEGOS SERIOS BASADOS EN TÉCNICAS DE INTERACCIÓN DE REALIDAD AUMENTADA TANGIBLE PARA LA REHABILITACIÓN COGNITIVA. *3C TIC*, 58-79.
- Riobó Iglesias, J. A. (2015). Análisis de tendencias: Realidad Aumentada y Realidad Virtual”. *TecsMedia*, 2-23.
- SITUR. (20 de 8 de 2018). *SITURCAUCA*. Obtenido de SITURCAUCA: <http://www.siturcauca.com/ver-todas-las-publicaciones>
- Vincenzo Barrilea, A. F. (2019). INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOMÁTICAS Y CREACIÓN DE UNA APLICACIÓN PATRIMONIAL USANDO REALIDAD AUMENTADA. *Virtual Archaeology Review*, 40-51.

Escenario Virtual Gamificado Para La Difusión Del Turismo En Zonas De Postconflicto Del Departamento Del Cauca

Ada Natali Bolaños Sánchez, Cristian Camilo Betancourt Ledezma, Eleonora Palta Velasco, Maria Isabel Vidal Caicedo

{adabolanos, cristianbetancourt, eleonoralpata, mvidal} @unimayor.edu.co

Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán Colombia.

Pages: 151–162

Resumen: El presente trabajo fue desarrollado con el propósito de realizar un aporte al sector turístico del departamento del Cauca creando un escenario virtual Gamificado en zonas designadas del departamento del Cauca que fueron afectadas por el conflicto armado por cerca de 60 años y que hoy en día son consideradas zonas de posconflicto en donde se busca la reparación de las víctimas y la reactivación económica y productiva de la región. La propuesta consiste en el desarrollo de un entorno virtual gamificado que permita dar a conocer las riquezas de la región y explotar el potencial turístico que incluye la riqueza histórica, natural y la biodiversidad que caracterizan estas zonas. Para este desarrollo se pretende utilizar técnicas de ludificación (también conocidas como técnicas de gamificación) e incluir tecnologías como la realidad aumentada, realidad virtual y realidad mixta entre otros. El objetivo de esta herramienta es enriquecer la experiencia del turista permitiendo la interacción y visualización de información de diferentes sitios previamente seleccionados. Los resultados esperados con la aplicación de este tipo de tecnologías en el sector turismo hacen referencia a despertar el interés de las personas y los usuarios finales en visitar estas zonas y presentar una visión general de la riqueza que estas zonas pueden ofrecer.

Palabras-clave: Postconflicto; Gamificación; dispositivos móviles; Turismo.

Gamified Virtual Scenario for the Dissemination of Tourism in Post-Conflict Areas of the Department of Cauca

Abstract: The present work was developed with the purpose of making a report to the tourism sector of the department of Cauca creating a virtual Gamified scenario in designated areas of the department of Cauca that were affected by the armed conflict for about 60 years and today are considered areas of post-conflict where victims' reparation and economic and productive revival of the region are sought.

The proposal consists in the development of a virtual gamified environment that allows to make known the wealth of the region and exploit the tourist potential that includes the historical, natural wealth and biodiversity that characterizes these

areas. For this development it is intended to use gamification techniques (also known as gamification techniques) and include technologies such as augmented reality, virtual reality and mixed reality among others.

The objective of this tool is to enrich the experience of the selected tourist, the interaction and visualization of information from different previously selected sites. The expected results with the application of this type of technologies in the tourism sector refer to arouse the interest of people and end users in visiting these areas and present an overview of the wealth that these areas can offer.

Keywords: Post-conflict; Gamification; mobile devices; tourism

1. Introducción

Colombia es un país conocido por su riqueza cultural, diversidad y recursos naturales, por lo tanto, un lugar propicio para el sector turístico, sin embargo con la llegada de grupos insurgentes que mediante el terror y la guerra afectaron a la población, el sector turístico se vio afectado en gran medida. El departamento del Cauca durante los últimos 60 años, un lugar afectado por llegada del conflicto bélico entre el ejército y los grupos armados al margen de la ley, de igual manera, esta situación afecta a la ciudad de Popayán, cabecera municipal del departamento de Cauca sufriendo una reducción considerable del número de visitantes perjudicando el sector turístico como consecuencia.

No obstante posterior a la firma de los acuerdos de paz, el turismo en el país y en el departamento del Cauca empezó a recuperarse progresivamente. Con el uso de las nuevas tecnologías se busca fortalecer el sector el turismo mediante el uso de un escenario virtual Gamificado que a través del uso de objetos virtuales mezclados con tecnologías como la realidad aumentada se muestre a diferentes usuarios las riquezas de la región potenciando el turismo tanto en la capital del departamento del Cauca como en el resto del departamento.

2. Marco conceptual

En esta sección se incluyen un conjunto de conceptos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este trabajo dentro de los cuales se encuentran: postconflicto, gamificación, realidad aumentada, turismo.

2.1. Postconflicto

El postconflicto es definido como el periodo de tiempo que sigue a la superación total o parcial de los conflictos armados, puede entenderse como un concepto de un único atributo: la reducción del número de homicidios relacionados con el conflicto por debajo de un umbral determinado que le otorga o le niega el estatus de conflicto activo (Universidad del Rosario, 2013).

Este proyecto basado en el turismo fénix que se viene dando a los nuevos intereses de los viajeros en los destinos con contextos de postconflicto se convierten en epicentros de aprendizaje colectivo para turistas que buscan conectarse con la humanidad, aprender, escuchar, ampliar sus horizontes e incluso conocerse a sí mismos a través de la visita de este tipo de lugares. Cada vez los viajeros que buscan ser responsables ambiental

y socialmente van aumentando ya que ellos logran valorar y respetar la cultura local y de alguna manera tienen el deseo de contribuir con la misma comunidad. Es con esta analogía que un destino turístico y la comunidad logran surgir como el ave fénix de la mano de los turistas (Rueda Esteban & Bonilla, 2017).

3. Gamificación

Es un concepto que hace referencia a la técnica de aprendizaje que traslada la mecánica y la dinámica de los juegos a diferentes ámbitos como el educativo, la publicidad, la salud entre otros, con el fin de conseguir mejores resultados, ya sea para absorber mejor algunos conocimientos, mejorar alguna habilidad, o bien recompensar acciones concretas, entre otros muchos objetivos (Sánchez Peris, 2015).

3.1. Realidad aumentada

La realidad aumentada puede definirse como una tecnología que busca potenciar la percepción que el usuario tiene del mundo real mediante la inclusión de elementos virtuales. La realidad aumentada permite al usuario interactuar con elementos virtuales mientras percibe el mundo real creando una fusión entre lo real y lo virtual mediante el uso de dispositivos que tengan la capacidad de crear recoger información sobre el entorno real para luego procesar imágenes virtuales para después añadirlas al mundo real de tal forma que la persona pueda experimentar la realidad de una manera completamente diferente (Fernández Santiago, González Gutiérrez, & Saúl, 2014).

3.2. Turismo

El turismo es entendido como un fenómeno social, cultural y económico relacionado con el movimiento de las personas a lugares que se encuentran fuera de su lugar de residencia habitual por motivos personales o de negocios /profesionales. Estas personas se denominan visitantes (que pueden ser turistas o excursionistas, residentes o no residentes) y el turismo tiene que ver con sus actividades las cuales implican un gasto turístico (UNWTO- Organización mundial del turismo, 2018).

3.3. TIC

Las TIC son también conocidas como las tecnologías de la información y de la comunicación y son entendidas como aquellos recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos, tales como computadoras, teléfonos móviles, televisores, reproductores portátiles de audio y video o consolas de juego (Universidad Autónoma de Mexico, 2013).

4. Metodología

Para el desarrollo del proyecto, se ha estimado 4 fases y sus actividades. En la tabla 1 se puede observar la distribución realizada.

Fase 1	Caracterización de los diferentes sitios de interés turístico ubicados en zonas de postconflicto dentro del departamento del Cauca.
A1	Identificar las zonas turísticas potenciales donde sea posible la realización de escenarios turísticos mediante objetos virtuales con respecto a las zonas del departamento del Cauca principalmente.
A2	Categorizar los lugares encontrados definiendo los más cercanos y propicios para llevar a cabo la selección de los sitios.
A3	Obtener registros multimedia de los lugares elegidos para así conocer la manera en que se implementara el escenario.
Fase 2	Generar una base conceptual acerca de las tecnologías adecuadas para la construcción de entornos virtuales gamificados.
A4	Explorar las tecnologías para el desarrollo de entornos virtuales gamificados que nos permitan desarrollar el proyecto.
A5	Seleccionar las herramientas a utilizar.
Fase 3	Diseñar un entorno virtual gamificado para la difusión del turismo en zonas de posconflicto del departamento del Cauca.
A6	Seleccionar la metodología para llevar a cabo el desarrollo.
A7	Explorar la metodología seleccionada.
A8	Aplicar la metodología seleccionada para el diseño.
Fase 4	Evaluar dentro de un espacio publico del departamento del Cauca la usabilidad del entorno virtual construido.
A9	Construir el instrumento de evaluación.
A10	Seleccionar los perfiles de evaluadores.

Tabla 1 – Actividades

5. Identificación de zonas turísticas

El Cauca es un departamento lleno de riquezas únicas como sierras, paramos a más de 4.000 metros, termales, playas y mar, grandiosos ríos, diversidad cultural una gastronomía única y los dialectos representativos de cada municipio.

La llegada de la paz al departamento del Cauca y a sus municipios abre las posibilidades de que todas las personas del mundo puedan llegar a los diferentes municipios del departamento del Cauca para conocer sus maravillas a nivel cultural y natural permitiendo el mejoramiento de la economía de cada municipio fomentando el crecimiento de empleo para sus habitantes con el incremento del turismo.

El Cauca registra 400 empresas de turismo que suman a la oferta patrimonial, religiosa y gastronómica que ofrecen a los turistas muchas posibilidades de conocer sitios exóticos ,de deportes extremos y culturas interesantes ,los más beneficiados con el potencial turístico son los municipios que padecieron con más fuerza el conflicto armado ,la corporación mixta de turismo del Cauca desarrollo el plan de desarrollo turístico y deseable para la región norte del Cauca ,involucra 13 localidades que suenan junto con

sus alcaldes y el potencial de sus municipios, los alcaldes no dudan en decir que este plan es una herramienta que dará un giro al norte del Cauca pues el turismo representa el tercer renglón de la economía en los municipios con grandes potenciales como por ejemplo el embalse de la salvajina con su cultura afro (Camara de Comercio del Cauca, 2017).

Para la clasificación de las zonas turísticas se usó el turismo fénix como una forma de turismo en la que el turista está directamente vinculado con el pasado del territorio que visita y, mientras busca conocer sus atractivos naturales, de memoria, entre otros, esta pensando en el resurgimiento mismo del destino y de sus comunidades por lo que esta dispuesto a ayudar, a apoyar, pagar mas por los servicios recibidos (Rueda Esteban & Bonilla, 2017).

5.1. Aspectos generales del departamento del Cauca

El departamento del Cauca esta ubicado al suroccidente de Colombia, con una población 1' 404. 313 habitantes según información proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el décimo departamento más poblado del país. Cuenta con 41 municipios distribuidos en una extensión de 30.000 kilómetros cuadrados, en donde predomina la población mestiza ubicada en la cabecera municipal y centro del departamento, y un numero menor de pobladores de raza indígena y raza negra.

El departamento del Cauca ha sido victima en un alto porcentaje de ataques por parte de grupos al margen de la ley, siendo el municipio de toribio el más golpeado con 32 atentados terroristas, seguido de caldono con 30, Argelia con 25 y el tambo con 20 lo que género en el año 2001 24.038 desplazados a la cabecera municipal otros departamentos del país. En cuanto la afectación por secuestros tuvo un promedio de 126 víctimas por año.

Esta situación genero una afectación significativa en el sector turístico del departamento. A raíz de los acuerdos de paz firmados en los últimos años y los esfuerzos del gobierno central por reactivar la economía de la zona, Angela María Rodríguez coordinadora del área de cultura y turismo de la cámara de comercio del Cauca destaco el crecimiento de 47 por ciento de visitantes en el primer semestre de este año comparado en el 2016 de los cuales el 68% por ciento de ese total son extranjeros de Francia, Alemania y estados unidos. Las cifras demuestran que a pesar dificultades que dejo el conflicto, para los extranjeros es una región muy atractiva (El Tiempo, 2017).

5.3. Selección de las Zonas del departamento del Cauca

Para el desarrollo del proyecto, se han seleccionado 5 zonas turísticas o municipios pertenecientes al departamento del Cauca y son conocidas por su historia, sus vistosos paisajes y su riqueza cultural. La propuesta consiste en que los usuarios tengan la oportunidad de conocer la historia de estos lugares y los atractivos que ofrecen para el sector turístico, entre las zonas seleccionadas se pueden mencionar el Volcán Purace (Figura 1), el páramo de las papas, Pozo Azul en Coconuco (Figura 2), la hacienda Coconuco, la iglesia de la Vega y el nudo de Almaguer.

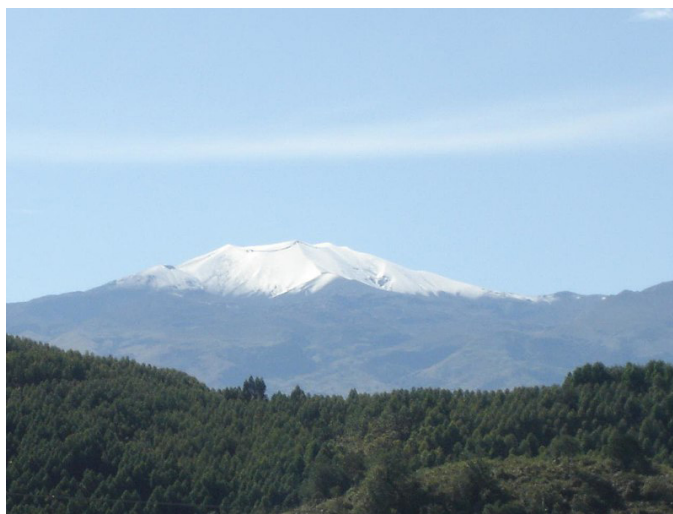


Figura 1 – Foto del Volcán Purace



Figura 2 – Foto de Pozo Azul, Coconuco.

6. Escenario Propuesto

Para el diseño y desarrollo del escenario, se ha considerado incluir algunas de las zonas turísticas del departamento del Cauca más reconocidas, debido al valor histórico que estos lugares poseen al igual que son sitios representativos de la flora y fauna de Colombia, cada escenario permitirá conocer parte de la historia que estos lugares contienen.

El desarrollo del proyecto es desarrollado utilizando la herramienta Android Studio, un entorno de desarrollo nativo de Android, que permite desarrollar aplicaciones nativas para dispositivos Android (smartphone, Tablet, wereables, Smart TV, etc.). esta herramienta cuenta con todos los componentes librerías y elementos para el desarrollo de aplicativos.

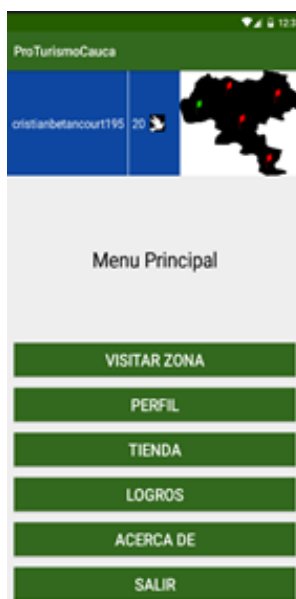


Figura 3 – Menú de selección de municipios de la aplicación.

Una vez el usuario a iniciado sesión luego de un registro exitoso, la aplicación despliega un menú en donde se ve la identificación del usuario, tiene la oportunidad de realizar los retos que se proponen y se visualizara el progreso que ha tenido en la visita de los diferentes sitios a través de un mapa del departamento del Cauca como se observa en la figura 3.

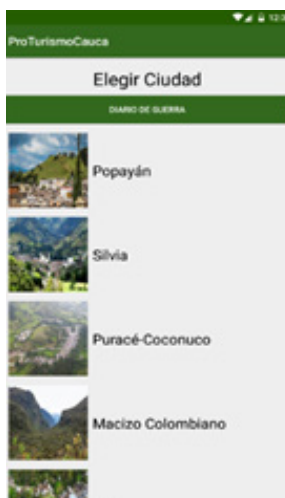


Figura 4 – Pantalla de selección de municipios

En la figura 4 se presenta la interfaz que visualiza los municipios pueden ser elegidos. Al momento en que la zona es elegida, se proporciona un nuevo menú por el cual el usuario podrá elegir entre diversas opciones que le permitirán adquirir información del municipio.

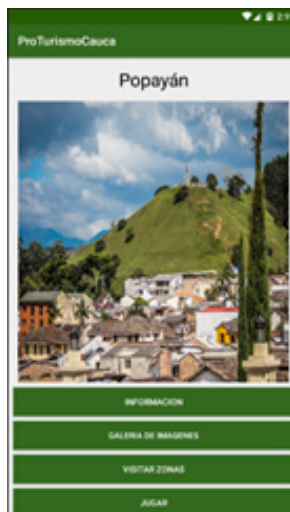


Figura 5 – Menú de Municipio

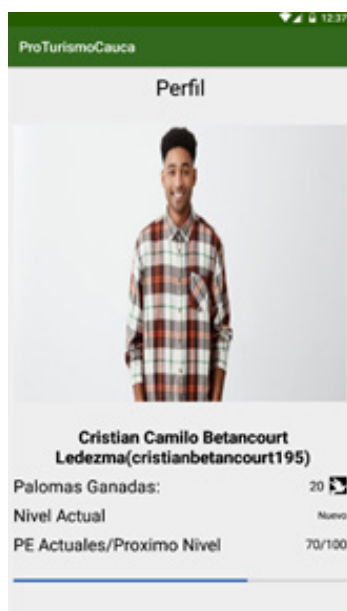


Figura 6 – Perfil de usuario

En la figura 5 se muestra el menú por el cual puede navegar el usuario una vez elegido el municipio. En el botón “Información”, se mostraran datos turísticos relevantes de la zona en cuestión en “Galería de imágenes”, los usuarios podrán publicar fotografías del municipio en cuestión y visualizar las publicaciones de otras personas, en “Visitar zonas” los usuarios podrán elegir las zonas turísticas que conforman cada municipio y por ultimo ‘Jugar” donde el usuario puede participar en dos actividades lúdicas para poner a prueba su conocimiento.

En la figura 6 se muestra la interfaz en la cual cada usuario cuenta con su perfil, en este es posible ver una foto, su nombre completo, nombre de usuario, las palomas con las que el usuario cuenta en el momento, el nivel que posee el jugador en base a la experiencia ganada, los puntos de experiencia que el usuario ha obtenido y los que necesita para subir de nivel.

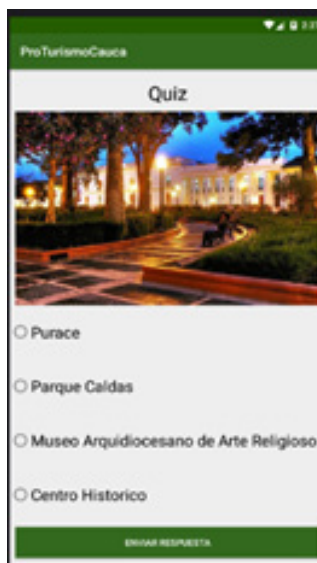


Figura 7 – Juego de tipo Quiz

También se puede encontrar un juego de tipo Quiz como se presenta en la figura 7 en donde el jugador podrá elegir la zona turística a la que corresponda la imagen mostrada arriba, para conocer la respuesta, se debe haber explorado las diferentes zonas que conforman cada municipio, ya que estas muestran información relevante del lugar e imágenes en cuestión, las mismas que pueden ser encontradas en este juego.

Finalmente se presenta un juego que consiste en completar la oración. La participación en el juegos permite al jugador ganar experiencia y desbloquear logros que, a su vez, son premiados con palomas, una especie de “moneda” que sirve para desbloquear objetos y personalizar la imagen de perfil del jugador.

ProTurismoCauca

Completar Oración

Otro de los sitios mas visitados por los turistas son el museo Arquidiocesano de Arte Religioso

- ☒ Arquidiocesano de Arte Religioso
- ☐ Guillermo Leon Valencia
- ☐ de Historia natural

En la noche de museos las calles del sector historico Se cierran

- ☐ Se ensacian
- ☐ Se llenan de gente
- ☒ Se cierran

Popayán es conocida como la Ciudad de Colombia

- ☐ Ciudad Blanca
- ☐ Ciudad Religiosa
- ☒ Ciudad de Colombia

COMPROBAR RESPUESTAS

Figura 8 – Juego Completar la oración.

ProTurismoCauca

Diario de Guerra

(PUBLICAR EN DIARIO)

Familia sin Hogar

En la via que conduce a Cocornuco, una familia fue victima de un grupo de hombres armados los cuales desalojaron su hogar

Cualquier clase de ayuda monetaria a la cuenta 1547888423 del Banco de Bogota para así ayudar a esta familia

Aceptada

Lago Cusiyaco seco

El lago Cusiyaco se ha secado, debido a la falta de mantenimiento en la zona y a los ataques que grupos guerrilleros causaron durante el conflicto armado caucano

Donar 15000 o mas a la cuenta corriente 13005478545 del Banco de Occidente para poder llevar a cabo labores de reconstrucción y mantenimiento

Pendiente

Figura 9 – Diario de Guerra

En la figura 9 se muestra el diario de guerra, este elemento de la aplicación permite a las personas publicar historias donde se relaten las consecuencias del conflicto y de como las personas pueden realizar acciones que favorezcan no solo a la comunidad perteneciente de la zona sino al lugar en general, ya sea mediante donativos, propuestas para participar en eventos de ayuda social entre otros. El usuario puede elegir a que actividades desea dar su contribución y con esto, lograr demostrar la implementación de turismo fénix al entorno virtual gamificado.

7. Conclusiones

se realizó una aplicación móvil para dispositivos Android con el fin de difundir el turismo en algunas zonas del departamento del Cauca tomando en cuenta las zonas turísticas en las cuales el postconflicto ha permitido la reactivación de este sector económico.

Se ha propuesto el desarrollar un entorno virtual que permita a las usuarios explorar estas zonas turísticas con el uso de dispositivos tecnológicos y el manejo de la realidad, de igual virtual, se plantean métodos de gamificación que logren llamar la atención de las personas y que puedan conocer de la historia de estos lugares de una manera lúdica y entretenida.

El Cauca es un sitio que tiene un valor histórico importante, reconocido por sus bellos paisajes, riqueza natural y cultural que se ha visto beneficiado del posconflicto, ya que el cese al fuego ha permitido a turistas visitar el departamento sin temor a sufrir experiencias violentas a manos de grupos irregulares, razón por la cual proporcionar una herramienta tecnológica que permita ofrecer una experiencia virtual puede incentivar las visitas en la región.

El proyecto se ha realizado con la herramienta Android Studio lo cual facilito la tarea de incluir elementos de gamificación dentro del entorno virtual al incluir elementos de interfaz grafica para dispositivos móviles, integración con Apis de autenticación, base de datos y almacenamiento de archivos, mediante la herramienta fue posible diseñar el entorno virtual e incluirle elementos gamificados que permitieran el cumplimiento de los objetivos planteados con anterioridad.

Referencias

- Gasca-Hurtado, G. P., Peña, A., Gómez-Álvarez, M., Plascencia-Osuna, Ó., & Calvo-Manzano, J. (2015). Realidad virtual como buena práctica para trabajo en equipo con estudiantes de ingeniería. RISTI.
- El Tiempo. (25 de Diciembre de 2017). El Cauca, una maravilla natural del país que la paz permite descubrir. Obtenido de El Tiempo - Colombia: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/aumenta-el-turismo-en-Cauca-gracias-a-la-paz-con-las-farc-165118>
- Porto, R. n. (2025). RISTI.

Radio Super Popayan. (27 de Diciembre de 2017). Prensa Nacional destaca el turismo que descubre el Cauca con el fin del conflicto. Obtenido de Radio Super Popayan: <http://www.radiosuperpopayan.com/2017/12/27/prensa-nacional-destaca-el-turismo-que-descubre-el-Cauca-con-el-fin-del-conflicto/>

Sánchez Peris, F. J. (2015). Gamificación. Education in the Knowledge Society, 10-15.

Universidad del Rosario. (08 de Agosto de 2013). Experimentos sobre la reconciliación política en Colombia. Obtenido de Postconflicto: <https://www.urosario.edu.co/jurisprudencia/jurisprudencia-reconciliacion/ur/Postconflicto/>

UNWTO- Organización mundial del turismo. (15 de Mayo de 2018). Entender el turismo: Glosario Básico. Obtenido de UNWTO- Organización mundial del turismo: <http://media.unwto.org/es/content/entender-el-turismo-glosario-basico>

Aplicação do método PROMETHEE II para seleção de empresas que empregam produtos químicos controlados pela OPAQ

Priscilla de Araújo Farias, Marcos Lopes do Nascimento, Ana Carla Bittencourt, Reis, Simone Borges Simão Monteiro, Ari Melo Mariano

priscillafarias.eng@gmail.com, marcos.pessoal@terra.com.br, anacarlabr@unb.br, simoneborges@unb.br, arimariano@unb.br

Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Pages: 163–176

Resumo: Este trabalho tem como objetivo avaliar as empresas localizadas no Brasil que utilizam produtos químicos controlados pela OPAQ (Organização para a Proibição de Armas Químicas) aplicando o método de análise multicritério PROMETHEE II. Para essa avaliação foram considerados os mesmos critérios utilizados pela OPAQ, referentes à vulnerabilidade da empresa e aos riscos de ocorrência de incidentes de alto impacto, com as respectivas classificações. A relação das empresas e as informações referentes aos critérios utilizados foram coletados do Cadastro da Coordenação Geral de Bens Sensíveis (CGBS) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). O resultado obtido é comparável com a priorização estabelecida pelo algoritmo A15 utilizado pela OPAQ e pode servir como base inicial para o estabelecimento de mecanismos internos de inspeção para a Autoridade Nacional Brasileira e de outros Estados-Membros.

Palavras-chave: OPAQ; CPAQ; armas químicas; análise multicritério; PROMETHEE.

Application of the PROMETHEE II Method to select companies that use chemical products regulated by OPCW

Abstract: This paper aims to evaluate companies located in Brazil that use chemical products regulated by OPCW (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) applying the PROMETHEE II multicriteria analysis method. For this assessment, the same criteria used by OPCW were considered, regarding the vulnerability of the company and the risk of high-impact incident. The list of companies and information regarding the established criteria were collected from the registration of the General Coordination of Sensitive Goods (CGBS) from the Ministry of Science, Technology, Innovation and Communication (MCTIC). The results are comparable to the prioritization established by the A15 Algorithm used by OPCW and can serve as a primary basis for the establishment of internal inspection mechanisms for the National Authority and other Member States.

Keywords: OPCW, CWC, chemical weapons, multicriteria analysis, PROMETHEE.

1. Introdução

Substâncias químicas tóxicas são utilizadas como armas de guerra há muitos anos. No entanto, foi durante a Primeira Guerra Mundial que as armas químicas adquiriram uma maior importância bélica, com investimentos, por parte dos países envolvidos, no desenvolvimento de técnicas ofensivas e defensivas no setor (OPCW, 2018a).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que, durante a Primeira Guerra Mundial 1,3 milhões de pessoas foram vítimas de armas químicas, resultando em aproximadamente 100 mil mortos (Ivarsson & Försvarets, 1992). Em 1925, como marco inicial do esforço da comunidade internacional no combate ao uso de armas químicas, foi assinado o Protocolo de Genebra que proibia o uso de material químico e biológico para fins bélicos (ONU, 2018). No entanto, não havia restrições quanto a posse dessas substâncias e poucos países participaram do acordo (Bouvier, 2000).

Durante a Segunda Guerra Mundial, os países participantes realizaram enormes investimentos no desenvolvimento de armas químicas. Essas substâncias, no entanto, não foram efetivamente utilizadas, resultando em grandes estoques de produtos químicos sensíveis (Silva et al, 2012). Ao término da Segunda Guerra Mundial, parte das substâncias estocadas foram destruídas, no entanto, ainda existem quantidades significante de material armazenado em diversos países (Silva et al, 2012).

No decorrer da Guerra Fria, houve muita pesquisa relacionada a produção de armas químicas pelos países integrantes da OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) e do Pacto de Varsóvia. No entanto, casos de uso dessas armas foram registrados em ações terroristas durante esse período (Silva et al, 2012). Assim, em 1993 foi assinada a Convenção Internacional sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso das Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas – Convenção para Proibição de Armas Químicas (CPAQ) - que entrou em vigor em 1997 com a criação da Organização para a Proibição de Armas Químicas (OPAQ), que conta, atualmente, com a participação de 193 Estados-Membros e proíbe o desenvolvimento, produção, estocagem e uso de armas químicas pelos países participantes (OPCW, 2018a).

A CPAQ é um instrumento universal que trata todos os países de maneira igualitária. Prevê a extinção da produção, pesquisa, desenvolvimento e estocagem de todas as armas químicas e instalações produtoras bem como o controle de substâncias químicas tóxicas passíveis de serem utilizadas nessas armas (OPCW, 1993). As missões da OPAQ baseiam-se em 4 pilares fundamentais (OPCW, 1993) relacionados à realização de inspeções para identificar e confirmar a destruição de armas químicas, monitoramento de atividades de indústrias químicas para evitar uso inapropriado de produtos sensíveis, prover assistência e proteção dos estados-membros em caso de ataque ou ameaça de uso de armas químicas e promover a cooperação internacional para o uso pacífico de produtos químicos não proibidos.

A OPAQ fornece apoio técnico às equipes nacionais dos Estados-membros na implantação prática da CPAQ com o objetivo principal de promover o desarmamento químico previsto na convenção (OPCW, 1993). O desarmamento inclui a destruição de estoques e desativação de indústrias que fabricam produtos classificados como ilegais. Aplica-se, também, um regime de verificação, em que suspeitas de uso indevido dessas

substâncias podem ser investigadas por meio de inspeções locais a qualquer tempo ou lugar nos países signatários (OPCW, 1993).

Anualmente, a OPAQ estabelece, durante a conferência dos Estados-Membros, o planejamento orçamentário para as diversas atividades da organização. O custo geral anual das inspeções da última década apresenta valor superior a 20 milhões de Euros para atividades de inspeção em Estados-Membros, que corresponde, em média, a 39% da despesa total da referida organização (OPCW, 2009, 2012, 2015 e 2018c).

1.1. A Proibição de Armas Químicas no Brasil

No Brasil, a CPAQ foi ratificada e aprovada pelo Congresso Nacional em 1996 (Brasil, 1996a) e promulgada pelo Presidente da República em 1999 (Brasil, 1999).

O acompanhamento de convenções, regimes ou tratados internacionais nas áreas do desarmamento e da não-proliferação de Armas de Destruição em Massa cabe à Comissão Interministerial de Controle de Exportação de Bens e Serviços (CIBES) (Brasil, 2002), constituída no Artº 4 da Lei nº 9.112/1995 (Brasil, 1995). Em 1996 foi criada, também, a Comissão Interministerial para aplicação dos dispositivos da CPAQ (Brasil, 1996b).

Atualmente, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), por meio da Coordenação-Geral de Bens Sensíveis (CGBS), é o responsável executivo da CIBES e da CIAD e, também, a autoridade nacional brasileira junto à OPAQ (Brasil, 2018).

O MCTIC trabalha em conjunto com o Ministério das Relações Exteriores, Ministério da Defesa, bem como com outros ministérios, agências e órgãos de interesse (Brasil, 1995).

Para uma melhor gestão dos procedimentos internos, foram estabelecidas também, as normatizações relacionadas às sanções administrativas e penais em caso de atividades proibidas pelo CPAQ (Brasil, 2005), aos controles do MCTIC relativos aos processos de importâncias de substâncias químicas especificadas na CPAQ (Brasil, 2012a) e à lista de bens sensíveis (Brasil, 2012b).

2. Contexto

Os recentes eventos relacionados ao uso de armas químicas em ataques terroristas, mesmo sob a vigência dos termos da CPAQ, preocupam a comunidade internacional quando a continuidade na disseminação desses agentes classificados como armas de destruição em massa (OPCW, 2018b).

Há, ainda, uma preocupação mundial quanto ao uso indiscriminado de substâncias químicas que, apesar de não serem consideradas produtos sensíveis, podem causar, impactos à saúde humano e, também, ao meio ambiente. Esse sentimento ficou evidente nos debates e no plano de ação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável estabelecida pelos Estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) em Assembleia Geral realizada em 2015 (Plataforma Agenda 2030, 2018).

Apesar das determinações previstas na CPAQ e das legislações internas quanto ao controle de produtos químicos sensíveis, não há no Brasil, critérios estabelecidos para a seleção e priorização das empresas que devem ser fiscalizadas. As inspeções ocorrem,

portanto, segundo critérios específicos estabelecidos pela OPAQ e dentro de um contexto internacional. A ausência de normativas relacionadas ao processo em questão pode causar riscos à sociedade, uma vez que, vulnerabilidades podem não ser identificadas a tempo e incidentes, como a explosão de uma fábrica ou vazamento de produtos químicos, podem ocorrer.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de análise multicritério para ordenar, com base na vulnerabilidade e no risco associado a ocorrência de incidentes de alto impacto, as empresas que empregam produtos químicos controlados pela CPAQ que possuem registro no MCTIC, comparando como método de priorização de inspeções aplicado pela OPAQ.

Assim, o CIBES, como responsável pelo acompanhamento dos termos da CPAQ e de outros tratados relacionados, sob a coordenação do MCTIC, na função de responsável executivo e autoridade nacional junto à OPAQ, pode estabelecer um processo interno de inspeção das empresas com maior eficiência e redução de custo, ao priorizar as atividades em instituições de maior risco associado, o que tem sido uma preocupação recorrente, em nível mundial, da OPAQ (Horner, 2011).

3. Metodologia

O problema apresentado se caracteriza pela análise das empresas que utilizam produtos controlados pela CPAQ à luz dos múltiplos critérios estabelecidos pela OPAQ dentro de um contexto internacional. Ao iniciar a modelagem de um problema de análise multicritério é necessário definir o tipo de abordagem que deve ser utilizada e para este estudo foi estabelecido como problema a necessidade de ordenar, a partir do grau de risco, as empresas brasileiras que empregam produtos químicos sensíveis fiscalizados pela OPAQ, a fim de priorizá-las no processo de inspeção nacional previsto para ser realizado pelo CIBES sob coordenação geral do MCTIC.

Para tanto, propõe-se o uso do método PROMETHEE II, que baseia-se na construção de relações de sobreclassificação para solucionar problemas de tomada de decisão, realizando, dessa forma, a ordenação por grau de prioridade das alternativas disponíveis (Vincke & Brans, 1985; Brans, Vincke & Mareschal, 1986).

A escolha do PROMETHEE II foi resultado de uma relevante pesquisa bibliográfica sobre a aplicabilidade do método em variados problemas de apoio à decisão em contexto não compensatório de avaliação. A metodologia escolhida foi uma adaptação do processo proposto por (Beltone & Stewart, 2002), onde são consideradas 4 etapas metodológicas, cujo escopo está apresentado nas seções a seguir. As etapas são: Identificação do Problema, Estruturação do Problema, Construção do Modelo e Análise e Avaliação do Modelo.

3.1. Identificação do Problema

A partir da análise do contexto de trabalho do CIBES, a fim de cumprir as exigências da legislação vigente quanto a proibição de armas químicas, identificou-se a necessidade de aumentar a eficiência do processo de fiscalização de empresas brasileiras que empregam produtos químicos sensíveis controlados pela OPAQ. Propõe-se a aplicação de um

método de análise multicritério para realizar uma ordenação adequada das empresas quanto aos seus riscos e vulnerabilidades em empregar essas substâncias e assim, priorizar as inspeções naquelas classificadas como de maior ameaça para redução dos custos desse processo.

3.2. Estruturação do Problema

Neste estudo, os critérios escolhidos foram os mesmos utilizados pela OPAQ e consideram, essencialmente, variáveis relacionadas à quantidade de plantas de produção das empresas que manipulam produtos químicos sensíveis, a quantidade e a toxicidade das substâncias produzidas.

Os pesos correspondem a importância de cada um dos critérios na avaliação de risco da empresa e foram propostos por profissionais especialistas do CIBES. Os pesos foram definidos em uma escala de 1 a 5 e baseiam-se na experiência e vivência dos profissionais no que se refere a aplicação dos termos da CPAQ. A Tabela 1 apresenta a relação dos critérios e os respectivos pesos.

Crítérios	Descrição	Peso
(N)	Número de plantas de produção dos produtos químicos orgânicos discretos não tabelados (não contém fósforo (P), enxofre (S) e flúor (F) – PSF).	2
(M)	Quantidade agregada de produtos químicos orgânicos discretos e não tabelados manipulados (anual).	5
(G)	Código de grupos de produtos que descrevem a principal atividade da fábrica.	4
(P)	Existência de plantas de produção de derivados PSF.	4

Fonte: OPCW: Technical Secretariat (2011)

Tabela 1 – Critérios da OPAQ para Priorização de Empresas

A OPAQ realiza uma pré-classificação das empresas quanto ao risco associado a cada critério. Para (N), a classificação baseia-se apenas no valor correspondente a quantidade de plantas. Para os critérios (M), (G) e (P) a classificação da OPAQ é realizada segundo as Tabelas 2, 3 e 4.

Valor (M)	Código	Faixa de Produção (R)
1	B31 – Risco Baixo	$200 < R < 1.000$ toneladas
3	B32 – Risco Intermediário	$1.000 \leq R \leq 10.000$ toneladas
1	B33 – Risco Alto	$R > 10.000$ toneladas

Fonte: OPCW: Technical Secretariat (2011)

Tabela 2 – Classificação da OPAQ para o Critério (M)

Valor (G)	Grupos de Códigos
0,25	519
1	511-513, 524, 531-533, 551, 553, 554, 562, 592, 593, 597
3	514, 516, 522, 523, 525, 571-575, 579, 581-583, 589, 599
7	515, 541, 542, 591

Fonte: OPCW: Technical Secretariat (2011)

Tabela 3 – Classificação da OPAQ para o Critério (G)

Os grupos de códigos apresentados na Tabela 3 referem-se a classificação dos produtos químicos manipulados pelas empresas, segundo o conjunto de elementos químicos dos quais são derivados (Declarations Handbook, 2017).

Valor (P)	Planta PSF
1	Não existe.
7	Existe pelo menos uma.

Fonte: OPCW: Technical Secretariat (2011)

Tabela 4 – Classificação da OPAQ para o Critério (P)

A OPAQ estabelece, ainda, um quinto critério relacionado ao tempo desde a última inspeção (A). No entanto, as informações relativas à classificação das empresas quanto a esse critério não estavam disponíveis na base utilizada, de forma que esta variável precisou ser desconsiderada neste trabalho.

Os critérios e os respectivos valores de classificação foram estabelecidos pela OPAQ com base na experiência obtida durante as inspeções realizadas e foram ajustados no decorrer dos anos para alcançar uma melhor representação da realidade observada. A ordenação e priorização é obtida a partir do algoritmo A15 dado pela seguinte fórmula (OPCW, 2011):

$$A15 = N^{1.5} \times M \times G \times P \times A$$

Este estudo propõe, portanto, uma alternativa à aplicação do algoritmo A15 utilizando um método MCDA, mais especificamente, o PROMETHEE II.

3.3. Construção e Aplicação do Modelo

As informações utilizadas neste estudo foram coletadas do cadastro da CGBS e referem-se ao ano de 2015. Os dados correspondem a pré-classificação da OPAQ, para cada um dos critérios, de 75 empresas nacionais que manipulam produtos químicos sensíveis e que podem ser submetidas aos procedimentos e visitas de inspeção, que são as alternativas

do modelo. Para que seja mantido o sigilo dessas fábricas, cada uma delas recebeu um código, no seguinte padrão: XY, com X variando de 1 a 3 e Y, de A a Y.

A escala utilizada para cada um dos critérios é a mesma aplicada pela OPAQ, ou seja, para (N) corresponde a quantidade real de plantas e para os demais critérios (M), (G) e (P), refere-se aos valores apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Para geração do modelo foi utilizado o software Visual PROMETHEE da VPSolutions (Mareschal, 2013) que se baseia na metodologia PROMETHEE (Brans & Mareschal, 1994). A matriz de avaliação das empresas, segundo os critérios definidos para o presente estudo encontra-se no Apêndice A.

Segundo Almeida e Costa (2002), o PROMETHEE prevê a classificação dos critérios em 6 diferentes tipos, relacionados ao modelo de função de preferência aplicado.

A definição do tipo de cada um dos critérios é do decisor e pode ser diferente de um critério para o outro. No caso deste estudo, uma vez que a escala utilizada considera a pré-classificação das empresas realizadas pela OPAQ, tratando-se, portanto, de valores discretos, optou-se por definir todos os critérios como usual. Uma vez definidos o tipo dos critérios, deve-se obter o valor de função de preferência (F) para cada relação par a par entre duas alternativas e, então, obter o grau de sobreclassificação entre elas dada por:

$$\pi(a,b) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n p_j F_j(a,b),$$

em que $P = \sum_{j=1}^n p_j$.

O método PROMETHEE II prevê a ordenação completa das alternativas utilizando o fluxo líquido Φ dado pela diferença entre o fluxo de entrada e de saída $\Phi = \Phi_+ - \Phi_-$ (Almeida & Costa, 2002). Os valores dos fluxos de saída, entrada e líquido para todas as alternativas encontra-se no Apêndice B.

3.4. Avaliação do Resultado

O resultado obtido a partir do modelo proposto pode ser comparado com a ordenação encontrada aplicando-se o algoritmo A15 definido pela OPAQ. A relação completa da comparação encontra-se no Apêndice C.

Pode-se observar que, seguindo os mesmos critérios, a aplicação do método PROMETHEE II apresenta-se para o MCTIC como um bom modelo para priorização das inspeções internas das empresas nacionais que manipulam bens sensíveis. O resultado aproximou-se do obtido pela OPAQ, entretanto, o modelo de decisão utilizado apresenta uma sólida metodologia na sua aplicação, o que torna o modelo robusto.

4. Conclusões

Ações preventivas de combate ao uso de armas químicas têm sido recorrentes. Anualmente, a OPAQ aplica um valor equivalente a, aproximadamente, 40% do seu

orçamento total em programas relacionados às visitas de inspeção nos Estados-Membros. No Brasil, cabe ao MCTIC, o papel de autoridade nacional junto à OPAQ, tendo como responsabilidade, garantir que as empresas e organizações do país cumpram com os termos da CPAQ.

Assim, neste trabalho, propõe-se a aplicação de um método MCDA, PROMETHEE II, para ordenação das empresas brasileiras, segundo critérios de avaliação de risco da OPAQ, para priorização no processo de inspeção.

Os resultados obtidos mostraram-se compatíveis com o modelo de priorização utilizado pela OPAQ (Algoritmo A15), principalmente, considerando as alternativas dentro de um mesmo quartil da ordenação. Cabe ressaltar que o algoritmo da OPAQ foi desenvolvido ao longo de anos, aplicado a empresas em escala mundial.

O modelo construído, apesar de obtido a partir de uma amostra que contempla apenas empresas brasileiras, por ter apresentado resultados equiparáveis à ordenação realizada pela OPAQ, pode servir como uma proposta inicial de método de priorização para que a Autoridade Nacional Brasileira e Autoridades Nacionais de outros Estados-Membros possam aplicar internamente e, uma vez que resultem em inspeções eficientes, possa ser adotada oficialmente pela OPAQ.

Além disso, no futuro, mesmo sendo adotado pela OPAQ, a aplicação do método MCDA permitiria uma flexibilidade para que os Estados-Membros possam realizar as adequações no modelo a partir da inserção de variáveis locais no processo de avaliação de riscos.

Cabe ressaltar que o modelo desenvolvido utilizou as informações fornecidas pela Autoridade Nacional Brasileira em 2015, com base na pré-classificação de critérios estabelecida pela OPAQ.

Assim, sugere-se que, em trabalhos futuros, o método seja empregado, também, utilizando os valores brutos dos critérios definidos e, ainda, com a inserção de outros critérios de impacto ambiental e social, como distâncias de centros urbanos e número de colaboradores, resultando, dessa forma em modelos ainda mais robustos de ordenação e priorização.

Referências

- Almeida, A. D., & Costa, A. P. C. S. (2002). Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gestão & Produção*, 9(2), 201-214.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. *Springer Science & Business Media*.
- Bouvier, A. A. (2000). Direito Internacional Humanitário e Direito dos Conflitos Armados. *Instituto para Treinamento em Operações de Paz, Williamsburg, VA*.
- Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- Brans, J. P., & Mareschal, B. (1994). The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. *Decision support systems*, 12(4-5), 297-310.

- Brasil. (1995). *Lei nº 9.112, de 10 de outubro de 1995. Dispõe sobre a exportação de bens sensíveis e serviços diretamente vinculados*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (1996a). *Decreto Legislativo nº 9, de 29 de fevereiro de 1996. Aprova o texto da Convenção Internacional sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso de Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas Existentes no Mundo, assinada em Paris, e 13 de janeiro de 1993*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (1996b). *Decreto nº 2.074, de 14 de novembro de 1996. Cria a Comissão Interministerial (CIAD) para a aplicação dos dispositivos da Convenção Internacional sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso das Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas existentes no mundo (CPAQ) e elenca as obrigações e deveres decorrentes da CPAQ*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (1999). *Decreto nº 2.977, de 1º de março de 1999. Promulga a Convenção Internacional sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso de Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas Existentes no Mundo, assinada em Paris, e 13 de janeiro de 1993*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (2002). *Decreto nº 4.214, de 30 de abril de 2002. Define a competência da Comissão Interministerial de Controle de Exportação de Bens Sensíveis, de que trata a Lei nº 9.112, de 10 de outubro de 1995, e dá outras providências*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (2005). *Lei nº 11.254, de 27 de dezembro de 2005. Estabelece as sanções administrativas e penais em caso de realização de atividades proibidas pela Convenção Internacional sobre a Proibição do Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso das Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas existentes no mundo (CPAQ)*. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (2012a). *Portaria nº 436, de 14 de junho de 2012. Estende os controles atinentes ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação aos processos de importação das substâncias químicas listadas e especificadas na Convenção Internacional sobre a Proibição de Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso de Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas Existentes no Mundo (CPAQ), promulgada no Brasil pelo Decreto nº 2.977, de 1º de março de 1999*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (2012b). *Portaria nº 437, de 14 de junho de 2012. Publica a atualização da Lista de Bens Sensíveis, referente às substâncias químicas listadas e especificadas na Convenção Internacional sobre a Proibição de Desenvolvimento, Produção, Estocagem e Uso de Armas Químicas e sobre a Destruição das Armas Químicas Existentes no Mundo (CPAQ), promulgada no Brasil pelo Decreto nº 2.977, de 1º de março de 1999*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília: Diário Oficial da União.
- Brasil. (2018). Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. *Bens Sensíveis*. Recuperado em 28 nov 2018 de https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/institucional/bens_sensiveis/Coordenacao-Geral/Coordenacao-Geral.html.

- Declarations Handbook. OPCW. vo. 1, book 1. Revised Version Jan, 2017.
- Horner, D. (2011). CWC Members Debate Inspection Distribution. *Arms Control Today*, 41(1), 50.
- Ivarsson, U., & Försvarets Forskningsanstalt (FOA). (1992). *A FOA briefing book on chemical weapons: threat, effects and protection*. Sundbyberg: FOA.
- Mareschal, B. (2013). Promethee & Gaia Software (Versão acadêmica) [Software de computador]. Retirado de <http://www.promethee-gaia.net/software.html>
- ONU. (2018). *Protocolo de Ginebra de 1925*. Oficina de Asuntos de Desarme de las Naciones Unidas. Retirado de <http://www.un.org/es/disarmament/instruments/geneva.shtml>.
- OPCW. (1993). *Chemical Weapon Convention*. Retirado de <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/articles/article-ii-definitions-and-criteria>.
- OPCW. (2009). Programme and Budget of the OPCW for 2010 (C-14/DEC.8). Retirado de https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CSP/C-14/en/c14deco8_en.pdf.
- OPCW. (2011). *Initiative by Director-General on a Methodology for the Selection of other Chemical* (S/962/2011). Retirado de https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/S_series/2011/en/s-962-2011_e_.pdf
- OPCW. (2012). Programme and Budget of the OPCW for 2013 (C-17/DEC.4). Retirado de https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CSP/C-17/en/c17deco4_e_.pdf.
- OPCW. (2015). Programme and Budget of the OPCW for 2016 (C-20/DEC.6). Retirado de https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/C-20/en/c20deco6_e_.pdf.
- OPCW. (2018a). *History*. Retirado 27 nov 2018 de <https://www.opcw.org/about-us/history>.
- OPCW. (2018b). *Media Centre*. Retirado 27 nov 2018 em <https://www.opcw.org/media-centre>.
- OPCW. (2018c). Programme and Budget of the OPCW for 2019 (C-23/DEC.10). Retirado de <https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2018/11/c23dec10%28e%29.pdf>.
- Plataforma Agenda 2030. (2018). Retirado 12 dez 2018 de <http://www.agenda2030.com.br>.
- Silva, G. R., Borges Jr, I., Figueroa-Villar, J. D., & Castro, A. T. D. (2012). Defesa química: histórico, classificação dos agentes de guerra e ação dos neurotóxicos. *Química Nova*, 35(10), 2083-2091.
- Vincke, J. P., & Brans, P. (1985). A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, 31(6), 647-656.

Apêndice A: Pré-classificação de Riscos da Empresas por Critério segundo a OPAQ

Cód	(N)	(M)	(G)	(P)	A15	Cód	(N)	(M)	(G)	(P)	A15
1A	3	1	7	1	36,37	2E	3	3	3	7	327,36
1B	1	3	7	1	21,00	2F	1	1	1	1	1,00
1C	5	1	3	7	234,79	2G	1	1	0,25	1	0,25
1D	1	1	3	1	3,00	2H	1	1	7	7	49,00
1E	2	3	3	1	25,46	2I	3	1	3	1	15,59
1F	6	1	3	7	308,64	2J	3	1	3	7	109,12
1G	2	3	7	7	415,78	2K	1	3	1	1	3,00
1H	1	1	3	1	3,00	2L	1	1	1	1	1,00
1I	2	1	3	1	8,49	2M	1	1	3	1	3,00
1J	1	1	1	1	1,00	2N	1	1	3	1	3,00
1K	4	1	3	1	24,00	2O	1	1	3	1	3,00
1L	3	1	7	7	254,61	2P	3	1	1	1	5,20
1M	1	3	1	1	3,00	2Q	5	1	3	1	33,54
1N	2	1	1	7	19,80	2R	5	1	3	1	33,54
1O	2	1	7	7	138,59	2S	2	1	3	1	8,49
1P	2	3	1	7	59,40	2T	1	1	1	7	7,00
1Q	4	3	3	1	72,00	2U	2	1	3	1	8,49
1R	2	1	7	1	19,80	2V	1	1	0,25	1	0,25
1S	4	1	3	1	24,00	2W	3	1	7	7	254,61
1T	2	1	1	7	19,80	2X	1	3	1	1	3,00
1U	1	1	3	1	3,00	2Y	3	1	1	1	5,20
1V	4	1	3	1	24,00	3A	23	1	1	1	110,30
1W	1	1	7	7	49,00	3B	5	3	1	1	33,54
1X	1	1	7	1	7,00	3C	7	1	7	7	907,49
1Y	1	1	7	7	49,00	3D	6	1	3	1	44,09
2A	1	1	1	1	1,00	3E	2	1	7	7	138,59
2B	1	3	7	7	147,00	3F	2	1	3	7	59,40
2C	1	3	3	7	63,00	3G	1	3	3	1	9,00
2D	2	1	1	7	19,80	3H	1	1	0,25	1	0,25
3I	1	3	1	7	21,00	3R	2	1	0,25	1	0,71
3J	3	1	1	1	5,20	3S	1	1	0,25	1	0,25
3K	7	3	7	7	2722,48	3T	2	1	3	1	8,49
3L	4	1	3	1	24,00	3U	10	3	3	1	284,60
3M	4	1	3	1	24,00	3V	1	1	3	1	3,00

Cód	(N)	(M)	(G)	(P)	A15	Cód	(N)	(M)	(G)	(P)	A15
3N	1	1	1	1	1,00	3W	1	1	0,25	1	0,25
3O	1	1	0,25	1	0,25	3X	5	1	7	7	547,84
3P	1	1	3	1	3,00	3Y	1	1	0,25	1	0,25
3Q	1	1	0,25	1	0,25						

Fonte: Cadastro da Coordenação-Geral de Bens Sensíveis (CGBS)

Apêndice B: Ordenação das Empresas Aplicando o Método MCDA Promethee II

Ord.	Empr.	Phi	Phi+	Phi-	Ord.	Empr.	Phi	Phi+	Phi-
1	3K	0,7865	0,7961	0,0036	36	3L	-0,0306	0,2054	0,2360
2	1G	0,6766	0,7234	0,0468	36	3M	-0,0306	0,2054	0,2360
3	2B	0,5883	0,6622	0,0739	41	1M	-0,0315	0,2982	0,3297
4	2E	0,5505	0,6387	0,0883	41	2K	-0,0315	0,2982	0,3297
5	3C	0,4486	0,5243	0,757	41	2X	-0,0315	0,2982	0,3297
6	3X	0,4288	0,5117	0,0829	44	2I	-0,0577	0,1892	0,2468
7	2C	0,4189	0,5505	0,1315	45	2T	-0,0991	0,2162	0,3153
8	1L	0,3820	0,4847	0,1027	46	1I	-0,1009	0,1622	0,2631
9	2W	0,3820	0,4847	0,1027	46	2S	-0,1009	0,1622	0,2631
10	3U	0,3523	0,4982	0,1459	46	2U	-0,1009	0,1622	0,2631
11	1O	0,3387	0,4577	0,1189	46	3T	-0,1009	0,1622	0,2631
12	3E	0,3387	0,4577	0,1189	50	3A	-0,1622	0,1658	0,3279
13	1P	0,3270	0,5432	0,2162	51	1D	-0,1892	0,1009	0,2901
14	1B	0,3180	0,4784	0,1604	51	1H	-0,1892	0,1009	0,2901
15	1Q	0,3072	0,4712	0,1640	51	1U	-0,1892	0,1009	0,2901
16	1F	0,2721	0,4090	0,1369	51	2M	-0,1892	0,1009	0,2901
17	1C	0,2595	0,4000	0,1405	51	2N	-0,1892	0,1009	0,2901
18	1W	0,2505	0,3964	0,1459	51	2O	-0,1892	0,1009	0,2901
18	1Y	0,2505	0,3964	0,1459	51	3P	-0,1892	0,1009	0,2901
18	2H	0,2505	0,3964	0,1459	51	3V	-0,1892	0,1009	0,2901
21	3I	0,2387	0,4820	0,2432	59	2P	-0,2378	0,1207	0,3586
22	1E	0,2369	0,4279	0,1910	59	2Y	-0,2378	0,1207	0,3586
23	2J	0,2126	0,3730	0,1604	59	3J	-0,2378	0,1207	0,3586
24	3F	0,1694	0,3459	0,1766	62	1J	-0,3694	0,0324	0,4018
25	3G	0,1486	0,3667	0,2180	62	2A	-0,3694	0,0324	0,4018
26	3B	0,1468	0,4135	0,2667	62	2F	-0,3694	0,0324	0,4018
27	1A	0,1117	0,3009	0,1892	62	2L	-0,3694	0,0324	0,4018

Ord.	Empr.	Phi	Phi+	Phi-	Ord.	Empr.	Phi	Phi+	Phi-
28	1R	0,0685	0,2739	0,2054	62	3N	-0,3694	0,0324	0,4018
29	3D	0,0018	0,2252	0,2234	67	3R	-0,3820	0,0613	0,4432
30	1N	-0,0108	0,2775	0,2883	68	2G	-0,4703	0,0000	0,4703
30	1T	-0,0108	0,2775	0,2883	68	2V	-0,4703	0,0000	0,4703
30	2D	-0,0108	0,2775	0,2883	68	3H	-0,4703	0,0000	0,4703
30	2Q	-0,0108	0,2162	0,2270	68	3O	-0,4703	0,0000	0,4703
30	2R	-0,0108	0,2162	0,2270	68	3Q	-0,4703	0,0000	0,4703
35	1X	-0,0198	0,2126	0,2324	68	3S	-0,4703	0,0000	0,4703
36	1K	-0,0306	0,2054	0,2360	68	3W	-0,4703	0,0000	0,4703
36	1S	-0,0306	0,2054	0,2360	68	3Y	-0,4703	0,0000	0,4703
36	1V	-0,0306	0,2054	0,2360					

Fonte: Promethee-Gaia, 2018.

Apêndice C: Comparação da Ordenação do Método Promethee II com o Algoritmo A15 Definido pela OPAQ

A15 (OPAQ)		Promethee II		A15 (OPAQ)		Promethee II	
Pref.	Valor	Pref.	Valor	Pref.	Valor	Pref.	Valor
3K	2722,48	3K	0,7865	2D	19,80	3L	-0,0306
3C	907,49	1G	0,6766	2I	15,59	3M	-0,0306
3X	547,84	2B	0,5883	3G	9,00	1M	-0,0315
1G	415,78	2E	0,5505	1I	8,49	2K	-0,0315
2E	327,36	3C	0,4486	2S	8,49	2X	-0,0315
1F	308,64	3X	0,4288	2U	8,49	2I	-0,0577
3U	284,60	2C	0,4189	3T	8,49	2T	-0,0991
1L	254,61	1L	0,382	1X	7,00	1I	-0,1009
2W	254,61	2W	0,382	2T	7,00	2S	-0,1009
1C	234,79	3U	0,3523	2P	5,20	2U	-0,1009
2B	147,00	1O	0,3387	2Y	5,20	3T	-0,1009
1O	138,59	3E	0,3387	3J	5,20	3A	-0,1622
3E	138,59	1P	0,327	1D	3,00	1D	-0,1892
3A	110,30	1B	0,318	1H	3,00	1H	-0,1892
2J	109,12	1Q	0,3072	1M	3,00	1U	-0,1892
1Q	72,00	1F	0,2721	1U	3,00	2M	-0,1892
2C	63,00	1C	0,2595	2K	3,00	2N	-0,1892
1P	59,40	1W	0,2505	2M	3,00	2O	-0,1892
3F	59,40	1Y	0,2505	2N	3,00	3P	-0,1892
1W	49,00	2H	0,2505	2O	3,00	3V	-0,1892

A15 (OPAQ)		Promethee II		A15 (OPAQ)		Promethee II	
Pref.	Valor	Pref.	Valor	Pref.	Valor	Pref.	Valor
1Y	49,00	3I	0,2387	2X	3,00	2P	-0,2378
2H	49,00	1E	0,2369	3P	3,00	2Y	-0,2378
3D	44,09	2J	0,2126	3V	3,00	3J	-0,2378
1A	36,37	3F	0,1694	1J	1,00	1J	-0,3694
2Q	33,54	3G	0,1486	2A	1,00	2A	-0,3694
2R	33,54	3B	0,1468	2F	1,00	2F	-0,3694
3B	33,54	1A	0,1117	2L	1,00	2L	-0,3694
1E	25,46	1R	0,0685	3N	1,00	3N	-0,3694
1K	24,00	3D	0,0018	3R	0,71	3R	-0,382
1S	24,00	1N	-0,0108	2G	0,25	2G	-0,4703
1V	24,00	1T	-0,0108	2V	0,25	2V	-0,4703
3L	24,00	2D	-0,0108	3H	0,25	3H	-0,4703
3M	24,00	2Q	-0,0108	3O	0,25	3O	-0,4703
1B	21,00	2R	-0,0108	3Q	0,25	3Q	-0,4703
3I	21,00	1X	-0,0198	3S	0,25	3S	-0,4703
1N	19,80	1K	-0,0306	3W	0,25	3W	-0,4703
1R	19,80	1S	-0,0306	3Y	0,25	3Y	-0,4703
1T	19,80	1V	-0,0306				

Fonte: os autores.

Blockchain para gerenciamento de prontuários eletrônicos

Caroline Viana¹, Alexandre Brandão^{2,3}, Diego Dias⁴, Gabriela Castellano^{2,3},
Marcelo de Paiva Guimarães^{1,5}

carolinevianapereira@gmail.com, abrandao@ifi.unicamp.br, diegocolombo.dias@gmail.com, gabriela@ifi.unicamp.br, marcelodepaiva@gmail.com

¹ Federal University of São Paulo, São Paulo, Brasil

² University of Campinas, Campinas, Brasil

³ Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology, Campinas, Brasil

⁴ Federal University of São João del Rei, Minas Gerais, Brasil

⁵ Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, Brasil

Pages: 177–187

Resumo: O fato de não existir uma solução integrada de gerenciamento dos dados dos pacientes no Brasil, torna o controle dos seus prontuários um grande desafio ao sistema público e privado de saúde. Assim, a dificuldade com esse controle leva à perda de informações no histórico clínico do paciente, o que impacta diretamente no tratamento, diagnósticos e prevenção, pois gera atrasos e retrabalho. Obstáculos como esses são impeditivos para a melhora dos quadros clínicos dos pacientes e também prejudicam qualquer iniciativa de programas de prevenção, diagnóstico precoce e a condução de pesquisa científica nesta área. Este artigo tem como objetivo apresentar um sistema baseado em blockchain voltado para o gerenciamento de prontuário pelos próprios pacientes. Ele está voltado, inicialmente, para prontuários de pacientes que estão em processo de reabilitação física ou neurofuncional. Os resultados iniciais mostram que o uso de blockchain é uma solução factível, mas ainda demanda regulamentação governamental e o envolvimento dos provedores de serviços de saúde.

Palavras-chave: blockchain, descentralização, Ethereum, smart contracts, prontuário.

Blockchain for Electronic Medical Record Management

Abstract: Due to the lack of an integrated data management solution for patients in Brazil, it is common for them to lose control of their medical records. This lack of control causes, for example, loss of history, which directly impacts on treatment, diagnosis and prevention, as it generates delays and rework. Obstacles such as these are hindering the improvement of clinical conditions of patients and hinder prevention, early diagnosis and research work. This article aims to present

a blockchain-based system focused on the management of medical records by the patients themselves. Initially, we focused on the medical records of patients undergoing physical or neurofunctional rehabilitation. Initial results show that blockchain is a feasible solution, but still requires government regulation and the involvement of health service providers.

Keywords: blockchain, decentralization, Ethereum, smart contracts, medical records.

1. Introdução

A visita em incontáveis instituições ou centros de saúde é rotina na vida dos indivíduos durante o decorrer de suas vidas, onde buscam por tratamento ou prevenção de enfermidades, sendo que em todas essas visitas são gerados dados a respeito do paciente. Na maioria dos casos, e particularmente no Brasil, os pacientes perdem o acesso ao seus dados ou, na maioria das vezes, nunca chegam a possuir por completo as informações de suas visitas médicas.

Este cenário impacta diretamente o acompanhamento do histórico de visitas médicas, da percepção real da frequência no desenvolvimento de doenças ou mesmo na qualidade de vida, em relação ao quão saudável está cada cidadão em diferentes fases da sua vida. A falta de uma gestão adequada dessas informações gera lentidão nos processos clínicos e hospitalares, pois requer a repetição de exames, que por vezes usam radiação (por exemplo, raio-x) ou são considerados procedimentos invasivos.

Além disso, informações relevantes de um dado paciente, que poderiam ser a chave de um diagnóstico, não raramente são perdidas com o tempo. Isso, aliado à falta de confiança dos pacientes no resguardo da sua privacidade, pode contribuir para a não realização de determinado procedimento ou até mesmo o abandono de uma terapia em andamento.

No Brasil, o modelo de gerenciamento de dados clínicos é centralizado nos provedores de serviços médicos e o compartilhamento destas informações está a critério destas entidades. Embora os pacientes tenham direitos (amparados por leis¹) a seu favor, até que eles tomem conhecimento e recorram a esses direitos perde-se muito tempo, o que tratando-se de saúde ou diagnóstico precoce, pode ser decisivo na evolução do tratamento ou na prevenção do desenvolvimento de complicações relacionadas à enfermidade.

A blockchain (Nakamoto, 2008) é uma tecnologia que pode facilitar a transição de um modelo centralizado em provedores de serviços médicos, para um modelo mediado pelo paciente (Azogu, Norta, Papper, Longo, & Draheim, 2019; Chen, Xu, Shi, Zhao, & Zhao, 2018; Kassab, DeFranco, Malas, Destefanis, & Neto, 2019; Loizou, Karastoyanova, & Schizas, 2019; Rahman, Khalil, Mahawaga Arachchige, Bouras, & Yi, 2019). Para isso, recursos como o compartilhamento, distribuição, encriptação, persistência dos dados e a validação das informações pelo próprio paciente devem, com o tempo, mitigar a perda ou o desencontro dessas informações.

¹ Segundo o Conselho Federal de Medicina (Resolução CFM nº 1.821/2007), o prontuário médico deve ser mantido na instituição por, no mínimo, 20 anos.

Dependendo do objetivo, a criptografia oferecida pela tecnologia blockchain poderá ser para uso público ou privado. No caso de instituições privadas de saúde, as partes (operadoras de saúde e pacientes) mantêm algum tipo de confiança, usualmente mediada por cláusulas contratuais.

Já em instituições públicas, dois modelos podem ser adotados: (1) diferentes agentes de saúde podem inserir dados no sistema, sem que algum supervisor permanente tenha lhes concedido tal permissão; ou (2) diferentes agentes de saúde podem ler os dados dos pacientes, igualmente sem que algum supervisor permanente tenha lhes concedido tal permissão. Como os agentes de saúde envolvidos nestes modelos não precisam de autorizações, não há um efetivo controle sobre o acesso aos dados, comprometendo a segurança dos dados pessoais desses pacientes quando comparadas com as instituições privadas.

Este artigo tem como objetivo apresentar um sistema baseado em tecnologia blockchain voltado para o co-gerenciamento de prontuário pelos pacientes. Este sistema foi proposto em um projeto interinstitucional e interdisciplinar formado por profissionais da área de saúde e de tecnologia, a fim de permitir a aplicação dos conceitos de blockchain no gerenciamento dos dados de pacientes em processo de recuperação motora ou neurofuncional (neurorreabilitação).

Além de gerenciar os dados inerentes dos prontuários médicos (resultados de exames, medicação e evolução do tratamento), o sistema também armazenará informações das intervenções clínicas relativas ao registro da amplitude de movimentos (ADM) dos membros inferiores e superiores durante as sessões de reabilitação. Assim, o gerenciamento de dados dos pacientes é parte de um projeto maior em andamento (conduzido pelos autores deste manuscrito), o qual envolve o rastreamento motor de pacientes com o uso de dispositivos e sensores de reconhecimento de gestos, visualização de dados e imersão dos pacientes em ambientes de realidade virtual (Dias et al., 2018).

A estrutura organizacional do trabalho se apresenta da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação, principalmente sobre os princípios envolvidos no funcionamento da tecnologia blockchain; a Seção 3 evidencia o contexto no qual o trabalho está inserido e descreve brevemente trabalhos relacionados; a Seção 4 expõe a solução desenvolvida e, por fim, a Seção 5 discorre sobre as conclusões.

2. Fundamentação

A tecnologia blockchain surgiu com o bitcoin a fim de garantir segurança em transações financeiras com a criptomoeda (Antonopoulos, 2014; Javarone & Wright, 2018). Esta tecnologia é inerentemente inovadora quando comparada à solução centralizada, tradicionalmente adotada no mercado financeiro, pois elimina a necessidade de uma entidade intermediária, como no caso de transações bancárias.

Assim, quando uma dada informação criptografada é criada, ela é transmitida para uma rede de computadores que gera, propaga e verifica a efetividade da transação (Narayanan & Clark, 2017). Quanto maior é a rede, mais segura ela é, pois existem mais computadores validando as informações, antes que elas sejam incorporadas ao bloco.

No caso da rede de bitcoin, os nós da rede são incentivados com ganhos financeiros que por sua vez contribuem com a rede, validando as transações e formando os blocos.

O princípio lógico de funcionamento da tecnologia blockchain assemelha-se a um livro contábil (livro razão), onde todas as entradas e saídas são anotadas, ou seja, blocos unidos em uma cadeia de páginas ordenadas conforme uma referência criptográfica em relação à página (bloco) anterior. Cada bloco desse livro é formado pelo seu conteúdo e também pelo cabeçalho que contém metadados (dados sobre o próprio bloco).

Além disso, essa solução é capaz de realizar auditoria em si mesma periodicamente, para garantir que nada foi adulterado. Ela envolve diversas tecnologias, como, por exemplo, o uso da função *hash*² criptográfica para validar os dados com base no *timestamp*³ (Haber & Stornetta, 1991), e o uso de uma chave pública para verificar assinaturas feitas por um detentor anônimo de chave privada correspondente (Narayanan & Clark, 2017).

Essa estrutura descentralizada beneficia o sistema em relação à segurança, mas perde em rapidez de processamento, pois todos os nós da rede validam a mesma informação para garantir sua veracidade. A tecnologia blockchain pode ser aplicada a quaisquer valores de caráter digital, como por exemplo certificados, contratos, arquivos ou qualquer outro que se deseje. Ela não necessita estar vinculada ao bitcoin, embora esse tenha sido seu primeiro uso. Dissociada da criptomoeda, a blockchain é apenas uma estrutura de dados, ou seja, é uma forma definida de como os dados são unidos e armazenados, muito similar ao banco de dados, porém descentralizada (Lewis, 2018).

Com a popularização da blockchain e do bitcoin, percebeu-se algumas limitações, o que impulsionou o desenvolvimento de outras plataformas derivadas desta tecnologia. Um exemplo é a plataforma descentralizada *Ethereum*⁴, que surgiu em 2015 e, diferentemente da blockchain (bitcoin), não está restrita a transações monetárias. Com essa plataforma tem-se o conceito de *smart contracts* (responsáveis por inserir os dados em um livro-razão digital e seguro), que são softwares que executam na blockchain, que possibilitam a construção de aplicações que façam todo o gerenciamento e controle de acesso aos dados. Assim, é possível codificar uma lógica de negócios complexa, desde que todos os dados de entrada necessários sejam representados no blockchain.

Como os dados dos *smart contracts* são distribuídos entre diversos nós da rede, então se um dos nós tiver algum problema, ele não afetará a aplicação, pois todos os nós mantêm uma cópia exata da aplicação e continuam mantendo a rede. Entretanto, se o controle fosse centralizado, o nó central seria um ponto de falha.

Os *smart contracts* da *Ethereum* possuem uma linguagem própria de programação denominada *Solidity*⁵, que agrega flexibilidade não prevista, pois permite a implementação de recursos complexos, que não são permitidos originalmente na blockchain, por motivo de segurança. Por exemplo, usando o *Solidity* é possível criar uma aplicação para

² Também conhecida como função de dispersão criptográfica, é unidirecional e praticamente impossível de ser invertida.

³ Registro de data e hora, com margem de validação entre 1 e 2 horas, que permite a conexão à rede em qualquer fuso horário evitando a especulação e a manipulação temporal.

⁴ <https://www.ethereum.org/>

⁵ <https://github.com/ethereum/solidity>

interagir com outras aplicações web, sendo estas redes *Ethereum* mais flexíveis do que a do bitcoin, pois ao invés de executar um conjunto de operações pré-definidas, permitem a criação de regras por meio de programação que são executadas na rede.

Cabe notar que muitos pontos desta rede se mantêm, por exemplo, a criptografia, com o processamento distribuído e como uma forma de recompensa em que os nós mineradores (que recebem a informação) verificam, propagam e executam as transações. Uma transação é simplesmente uma *string* (cadeia de caracteres), com uma declaração de que o ponto A está pagando ao ponto B algum valor, designado pelos pontos desta rede.

3. Trabalhos relacionados

No modelo tradicional de transações entre duas entidades, a identidade real das pessoas está diretamente ligada às transações que ela realiza, que são mediadas por uma terceira parte, na qual deposita-se confiança e que deve garantir a privacidade. Ou seja, trata-se de um modelo frágil, pois é centralizado. Já no modelo proposto pela blockchain, as transações estão completamente desvinculadas das identidades das pessoas e não há necessidade de confiar ou depender de uma entidade terceira para intermediar as trocas, dispensando a necessidade de confiança entre as partes.

Essas transações, apesar de serem anunciadas publicamente, são anônimas e todas elas são vinculadas à chave pública, que não está vinculada à identidade real da pessoa, possibilitando que todos possam acompanhar quando alguém está realizando uma transação (apesar de não se saber quem exatamente).

Essas características impulsionaram, por exemplo, propostas de uso de blockchains privadas para gerenciamento de acessos a registros médicos, conhecidas como *MedRec*⁶, *MTBC*⁷ e *Change Healthcare*⁸, que visam proporcionar o controle dos dados pelo próprio paciente e um mecanismo de interação entre provedores de serviços médicos e operadoras de saúde (Lippman, Nchinda, Retzepi, & Cameron, 2018).

Outro projeto é o *SimplyVital Health*⁹, que é voltado, principalmente, para auxiliar os provedores de serviços de saúde a prever quanto custará o atendimento de um paciente levando em conta os dados oriundos de diversas instituições ou centros de saúde.

Kassab et al. (2019) revisaram quais os esforços necessários para adotar a blockchain como base de prontuários eletrônicos, apontando seus benefícios e desafios. Uma das dificuldades da adoção é o fato de já existir uma base de aplicações e dados pré-existentes em execução. A fim de superar tais barreiras, Rahman et al. (2019) propuseram um *wrapper*¹⁰ para fazer a conexão entre sistemas baseados em cloud com os de blockchain, permitindo a transição para um novo modelo de dados.

⁶ <https://medrec.media.mit.edu/>

⁷ <https://ir.mtbc.com/news-releases/news-release-details/mtbc-takes-electronic-health-records-next-level-blockchain>

⁸ <https://www.changehealthcare.com/press-room/press-releases/detail/change-healthcare-announces-general-availability-of-first-enterprise-scale-blockchain-solution-for-healthcare>

⁹ <https://www.simplyvitalhealth.com/>

¹⁰ Função utilizada para obter uma interface diferente, a partir de uma classe ou objeto adaptado (muito útil ao utilizar o código de uma biblioteca existente).

Neste artigo é proposta uma blockchain privada, para uso em sistemas de neurorreabilitação (em desenvolvimento pelos autores do manuscrito), que utiliza sensores e dispositivos para a quantificação da terapia durante o processo de recuperação neurofuncional.

4. Sistema de gerenciamento de prontuários eletrônicos

Esta solução oferece ao paciente a co-responsabilidade, em conjunto com o agente de saúde, de gerenciar seus dados relacionados à terapia. Portanto, é facultativo ao paciente atribuir e retirar acesso, em diferentes níveis, a diferentes clínicas (ou centros de saúde) envolvidas em seu tratamento. Assim, clínicas e pacientes possuem perfis diferentes para acesso aos dados, nos quais uma conta da blockchain faz a conexão entre a base de dados e o usuário final, seja ele paciente, clínica ou instituição de ensino/pesquisa (universidade).

A base desse projeto é a blockchain *Ethereum*, uma vez que a linguagem de programação nesta plataforma permite a customização dos serviços na blockchain. A rede é do tipo privada, pois envolve especificamente um conjunto de entidades parceiras; e a solução, além de gerenciar todos os dados dos prontuários, permite a visualização dos dados.

A Figura 1 mostra o funcionamento da solução (fluxograma), composto pelos seguintes passos:

- Passo 1: as clínicas parceiras coletam os dados dos pacientes durante as sessões de terapia, gerando, por exemplo, dados acerca da funcionalidade deste paciente e/ou suas respectivas prescrições médicas;
- Passo 2: os dados são armazenados em bancos de dados locais, nas próprias clínicas (centros de saúde) envolvidas no tratamento;
- Passo 3: para cada conjunto de dados de um determinado paciente (transação) é gerado um código *hash*, responsável pelo envio à rede blockchain a fim de ser validado ou não. Somente o código *hash* é enviado e armazenado na blockchain, ou seja, os dados não são enviados. Cada transação é armazenada em um bloco, que é ligada a outro, formando uma cadeia de blocos (*chain*). Neste projeto a rede blockchain é composta por computadores das instituições parceiras (universidades e clínicas de reabilitação);
- Passo 4: o paciente decide quais entidades (universidades e clínicas) terão acesso aos seus dados;
- Passo 5: as universidades parceiras podem buscar na blockchain informações acerca do tratamento e assim, obter acesso aos dados. A recompensa pela validação da blockchain, pelos nós da rede das universidades, é o acesso aos dados dos pacientes com o objetivo de realizar pesquisas acadêmicas.

A Figura 2 ilustra a arquitetura do software da solução. Inicialmente, é realizado o cadastro do paciente na blockchain e armazenado na clínica parceira, que terá a permissão. Em seguida, o terapeuta da clínica utiliza o software de mensuração de amplitude de movimentos (Brandão, et al. 2016), já desenvolvido esse projeto pelos autores do manuscrito, para inserir os dados de prescrição das sessões da terapia.

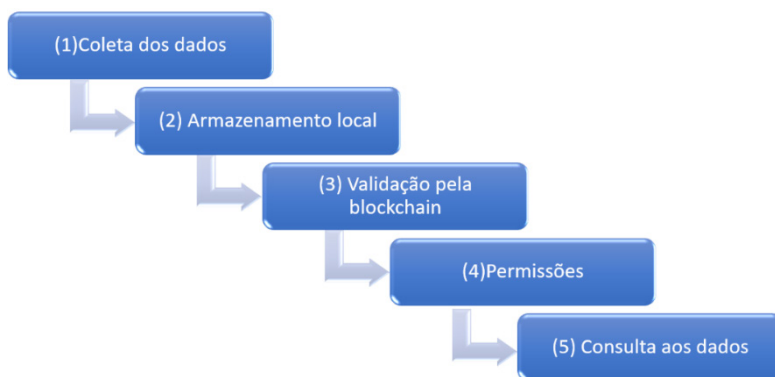


Figura 1 – Fluxograma de funcionamento

Assim, é permitido ao profissional configurar funcionalidades de acordo com as especificidades de cada paciente, entre elas, o plano anatómico em que os exercícios serão realizados (sagital, coronal e/ou transversal), os membros ou conjunto de membros a serem avaliados e se haverá gravação ou não de arquivos para armazenamento de imagens durante as sessões da terapia. Estes dados são armazenados localmente na clínica (universidade ou centros de saúde) e, simultaneamente, o código *hash* gerado (e enviado à blockchain) oferece a possibilidade de referenciar a localização desta clínica.

Posteriormente é realizada a validação dos dados, e sempre que ocorrer uma nova sessão, um novo *hash* é enviado para a blockchain. As operações entre o paciente, clínica e universidade são feitas com base em uma API (do inglês, *Application Programming Interface*) desenvolvida com *Ethereum*. Uma vez que os dados estão armazenados nas clínicas e são validados pela blockchain, os pacientes e as universidades (com permissão), podem ter acesso a eles.

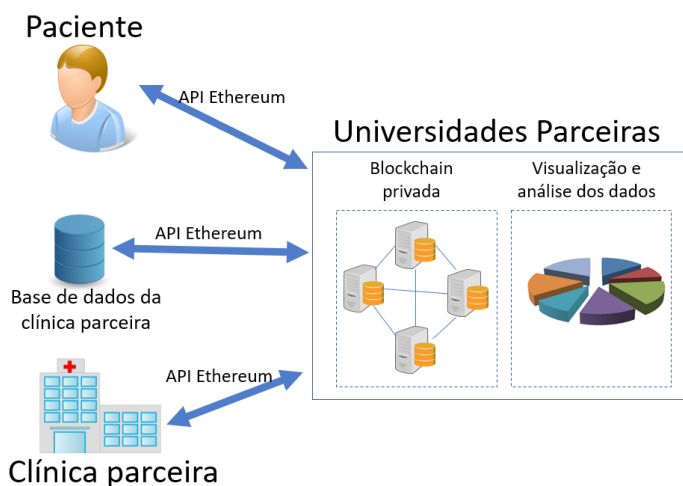


Figura 2 – Arquitetura de software

Estas permissões controlam o nível de visualização ou de edição dos dados, permitindo que as universidades possam realizar pesquisas a partir destes dados, sendo que os dados gerados durante a análise, podem ser manipulados e utilizados para a visualização no formato de gráficos (evidenciando a evolução do tratamento).

Cada transação é associada a um tipo de *smart contract*:

- **Smart contract registro de usuário:** tem por objetivo associar uma identificação de usuário a uma chave pública *Ethereum*. Exemplos de métodos deste contrato são: (1) criar novo usuário, que associa as credenciais do usuário a uma conta na blockchain *Ethereum*; e (2) validar usuário, no qual o usuário já tem uma conta e é voltada para gerenciar as permissões de acesso relacionadas a prontuários eletrônicos.
- **Smart contract permissão de acesso:** visa manter uma lista de dados em formato chave-valor, onde a chave do usuário (terapeuta ou pesquisador) é pública e o valor é um número que representa o nível de acesso que esse usuário tem sobre os dados do paciente. Se é nulo, ou seja, sem acesso, ou se ele pode apenas visualizar ou até mesmo adicionar dados. Para isso os seguintes métodos são utilizados: (1) solicitar permissão de acesso às clínicas ou universidades (via chave pública) e assim encontrar um determinado paciente, sendo que este recebe uma notificação quando ocorre uma solicitação de acesso; (2) definição da permissão de acesso, que possibilita ao paciente (após receber o pedido para acessar seus dados) escolher entre permitir a edição, a visualização ou não permitir acesso.

Os *smart contracts* armazenam *links* de acesso para os dados de interesse, no caso o prontuário do próprio paciente (Figura 3). O prontuário eletrônico não faz parte da blockchain, mas contém os registros dos dados pessoais dos pacientes e as informações registradas durante as sessões de terapia, por exemplo, os dados de amplitude de movimento.

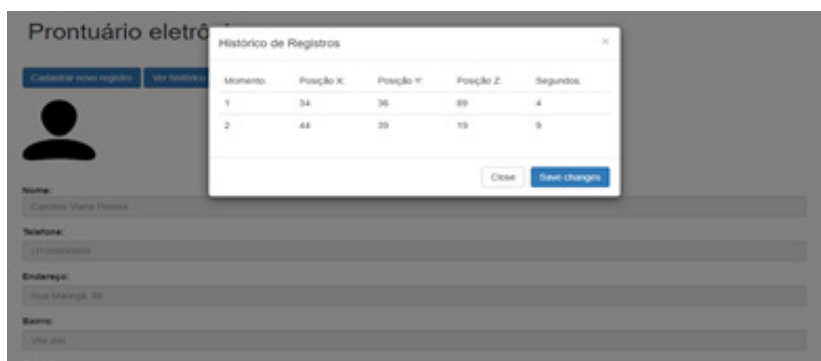


Figura 3 – Prontuário eletrônico do paciente

As ferramentas a seguir foram utilizadas na construção dos *smart contracts*:

- *Truffle Framework*¹¹: ferramenta que permite construir uma aplicação descentralizada na blockchain *Ethereum*. Este *framework* possui um conjunto

¹¹ <https://www.trufflesuite.com/>

de funcionalidades que permite escrever *smart contracts* a partir da linguagem de programação *Solidity*, possibilita testar esses *smart contracts* e inseri-los na blockchain.

- *Ganache Framework*¹²: permite construir uma rede *Ethereum* privada.
- *Metamask*¹³: extensão para o *Google Chrome*, que permite a conexão com a rede blockchain *Ethereum*.
- Linguagem de programação *Solidity* para construção dos *smart contracts*;
- Linguagem de programação *Python*¹⁴ ou *Framework Flask*¹⁵, ambos permitem a construção de uma API autenticada.

No momento, tanto as aplicações de registro da amplitude de movimento (Figura 4) quanto os *smart contracts* estão em fase de testes no laboratório de desenvolvimento de software e/ou clínicas parceiras. Na interface ilustrada na Figura 4, no lado direito são mostrados os parâmetros definidos para a sessão do paciente e é apresentado um vídeo (previamente gravado pelo terapeuta), com objetivo de servir como padrão ou modelo de movimento a ser realizado pelo paciente.

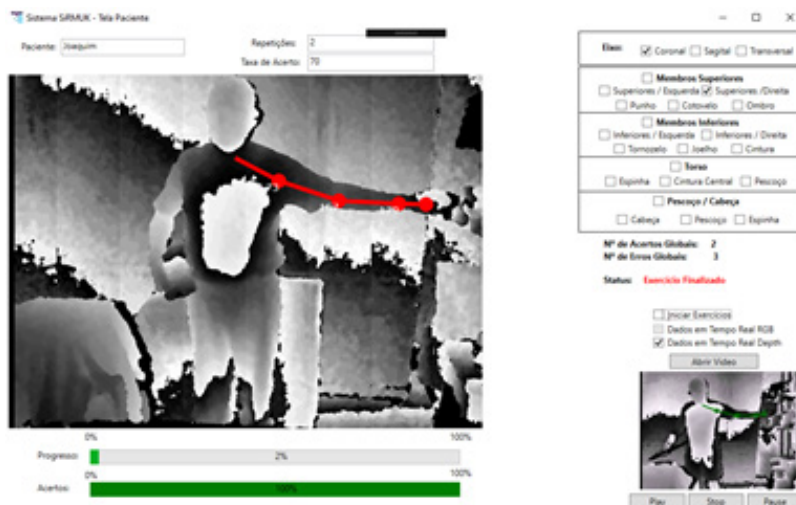


Figura 4 – Software de registro de movimentos dos pacientes

5. Conclusão

Neste trabalho apresentamos uma solução criada para prontuários eletrônicos voltados para os processos relativos à reabilitação de pacientes, em um contexto de blockchain

¹² <https://trufflesuite.com/docs/ganache>

¹³ <https://www.python.org/>

¹⁴ <https://metamask.io/>

¹⁵ <https://github.com/pallets/flask>

privada, considerando que a cada visita (de um paciente) em uma unidade de saúde são gerados muitos dados, oriundos de exames ou tratamentos, e que esses dados deveriam fazer parte do prontuário eletrônico desses pacientes.

Contudo tal solução não está restrita a este contexto, sendo que pesquisas médicas em diferentes áreas podem ser agregadas, oferecendo novos nós à blockchain. Com isso, é possível sincronizar informações de diferentes tratamentos (para um mesmo paciente) desde que solicitado e autorizado o acesso a esses dados. Estas informações devem ser controladas, armazenadas de forma permanente e garantida sua interoperabilidade com outros sistemas.

Ainda existem muitas barreiras para a integração dos resultados de exames médicos e, principalmente o desafio de empoderar o paciente como o principal gerenciador de seu prontuário. Assim, a segurança e a manutenção dos registros destes dados serão de corresponsabilidade entre pacientes e agentes de saúde, pois os interessados (pesquisadores e os próprios agentes de saúde), dependerão do paciente para acessar o prontuário e dar prosseguimento ao diagnóstico, tratamento ou pesquisa. O próximo passo será a implementação da solução de blockchain no gerenciamento dos prontuários eletrônicos, garantir que estas aplicações possuam uma melhor usabilidade e gradativamente oferecer treinamento aos envolvidos (pacientes, pesquisadores e agentes de saúde).

A área de aplicação da solução apresentada ainda demanda regulamentação governamental, que adicionalmente deverá viabilizar as formas de custear os gastos com essas transações e vem de encontro às demandas da sociedade, atendendo à Lei Geral de Proteção de Dados - LGPD¹⁶ (que no Brasil entra em vigor no próximo ano, seguindo uma tendência mundial, e já é realidade em diversos países desenvolvidos). Na atualidade, o desenvolvimento de solução baseada em blockchain tem sido uma alternativa viável para atender essa necessidade e os dados, além de importantes para o próprio paciente, são de extremo valor para o avanço da pesquisa nas áreas médica e de saúde digital (*e-Health*).

Referências

- Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Crypto-Currencies* (1st ed). O'Reilly Media, Inc.
- Azogu, I., Norta, A., Papper, I., Longo, J., & Draheim, D. (2019). A Framework for the Adoption of Blockchain Technology in Healthcare Information Management Systems: A Case Study of Nigeria. *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, 310–316. <https://doi.org/10.1145/3326365.3326405>
- Brandão, AF; Dias, DRC; Castellano, G; Parizotto, NA; Trevelin, LC. RehabGesture: an alternative tool for measuring human movement. *Telemedicine and e-Health Journal*. Vol. 22 N° 7 July 2016. DOI: 10.1089/tmj.2015.0139 <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/tmj.2015.0139>

¹⁶ <https://www.lgpdbrasil.com.br/>

- Chen, W., Xu, Z., Shi, S., Zhao, Y., & Zhao, J. (2018). A Survey of Blockchain Applications in Different Domains. *Proceedings of the 2018 International Conference on Blockchain Technology and Application*, 17–21. <https://doi.org/10.1145/3301403.3301407>
- Dias DRC, Alvarenga IC, Guimarães MP, Trevelin LC, Castellano G, Brandão AF (2018) eStreet: Virtual Reality and Wearable Devices Applied to Rehabilitation. In: Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2018*. ICCSA 2018. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 10963. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95171-3_60
- Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to timestamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2), 99–111. <https://doi.org/10.1007/BF00196791>
- Javarone, M. A., & Wright, C. S. (2018). From Bitcoin to Bitcoin Cash: A Network Analysis. *Proceedings of the 1st Workshop on Cryptocurrencies and Blockchains for Distributed Systems*, 77–81. <https://doi.org/10.1145/3211933.3211947>
- Kassab, M., DeFranco, J., Malas, T., Destefanis, G., & Neto, V. V. G. (2019). Investigating Quality Requirements for Blockchain-based Healthcare Systems. *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain*, 52–55. <https://doi.org/10.1109/WETSEB.2019.00014>
- Kassab, M., DeFranco, J., Malas, T., Neto, V. V. G., & Destefanis, G. (2019). Blockchain: A Panacea for Electronic Health Records? *Proceedings of the 1st International Workshop on Software Engineering for Healthcare*, 21–24. <https://doi.org/10.1109/SEH.2019.00011>
- Lewis, Antony. (2018). *The Basics of Bitcoins and Blockchains: An Introduction to Cryptocurrencies and the Technology that Powers Them*.
- Lippman, A., Nchinda, N., Retzepi, K., & Cameron, A. (2018). MedRec: Patient Control of Medical Record Distribution—IEEE Blockchain Initiative. Recuperado de <https://blockchain.ieee.org/technicalbriefs/july-2018/medrec-patient-control-of-medical-record-distribution>
- Loizou, C., Karastoyanova, D., & Schizas, C. N. (2019). Measuring the Impact of Blockchain on Healthcare Applications. *Proceedings of the 2Nd International Conference on Applications of Intelligent Systems*, 34:1–34:5. <https://doi.org/10.1145/3309772.3309806>
- Nakamoto, S. (2008). A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 9. Acessado em 15 de julho de 2019, disponível em <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Narayanan, A., & Clark, J. (2017). Bitcoin’s Academic Pedigree. *Commun. ACM*, 60(12), 36–45. <https://doi.org/10.1145/3132259>
- Rahman, M. S., Khalil, I., Mahawaga Arachchige, P. C., Bouras, A., & Yi, X. (2019). A Novel Architecture for Tamper Proof Electronic Health Record Management System Using Blockchain Wrapper. *Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Blockchain and Secure Critical Infrastructure*, 97–105. <https://doi.org/10.1145/3327960.3332392>

Previsão do abandono académico numa instituição de ensino superior com recurso a *data mining*

Maria P. G. Martins^{1,3}, Vera L. Migueis², D. S. B. Fonseca³, Paulo D. F. Gouveia¹

prud@ipb.pt, vera.migueis@fe.up.pt, davide@ubi.pt, pgouveia@ipb.pt

¹ Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

² Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

³ CISE – Electromechatronics Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 Covilhã, Portugal

Pages: 188–203

Resumo: Este estudo propõe dois modelos preditivos de classificação que permitem identificar, logo no final do 1º e do 2º semestres escolares, os estudantes de licenciatura de uma instituição de ensino superior mais propensos ao abandono académico. A metodologia proposta, que combina 3 algoritmos populares de *data mining*, como são as *random forest*, as máquinas de vetores de suporte e as redes neuronais artificiais, para além de contribuir para a assertividade da previsão, permite identificar por ordem de relevância os principais fatores que prenunciam o abandono académico. Os resultados empíricos demonstram ser possível reduzir para cerca de 1/4 as 4 dezenas de potenciais preditores do abandono, e mostram serem essencialmente dois, do contexto curricular do estudante, a explicarem essa propensão. Esse conhecimento revela-se de importância primordial para que os agentes de gestão possam adotar as medidas e decisões estratégicas mais propícias à diminuição dos índices de evasão discente.

Palavras-chave: *Educational data mining*; previsão do abandono académico; *random forest*; máquinas de vetor de suporte; redes neuronais artificiais.

Prediction of academic dropout in a higher education institution using data mining

Abstract: This study proposes two predictive models of classification that allow to identify, at the end of the 1st and 2nd semesters, the undergraduate students of a higher education institution more prone to academic dropout. The proposed methodology, which combines 3 popular data mining algorithms, such as random forest, support vector machines and artificial neural networks, in addition to contributing to predictive performance, allows to identify the main factors behind academic dropout. The empirical results show that it is possible to reduce to about 1/4 the 4 tens potential predictors of dropout, and show that there are essentially two predictors, concerning student's curriculum context, that explain this propensity. This knowledge is useful for decision-makers to adopt the most appropriate strategic measures and decisions in order to reduce student dropout rates.

Keywords: Educational data mining; prediction academic dropout; random forest; support vector machines; artificial neural networks.

1. Introdução

Dada a relevância do sucesso educacional para o progresso científico, tecnológico, económico e cultural de qualquer país ou sociedade, as recentes políticas educativas, tanto de âmbito nacional como da União Europeia, têm exigido às Instituições do Ensino Superior (IES) intervenções acrescidas em prol da promoção do desempenho académico e da diminuição dos índices de evasão discente.

A criação de modelos de previsão de desempenho académico que permitam identificar, com elevado desempenho e de forma precoce, os estudantes propensos ao abandono, bem como os principais fatores que prenunciam o fenómeno, são ações que poderão ter uma importância crucial para delinear intervenções que se possam revelar eficazes no combate à evasão discente. Com esse intuito, com recurso a ferramentas de *data mining* (DM), no presente artigo são propostos dois modelos de classificação para previsão do abandono, um deles para ser aplicado logo no final do 1º semestre e o outro no final do 1º ano letivo.

A fim de garantir uma caracterização adequada, quer da heterogeneidade de perfis estudantis existentes no ensino superior, quer das múltiplas dimensões indissociáveis do aluno que poderão influir no seu desempenho de aprendizagem, no desenvolvimento dos modelos, são considerados conjuntos de dados reais, de grande dimensão e dimensionalidade, provenientes das bases de dados do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), uma IES do interior do país, com 5 escolas, onde são ministradas mais de meia centena de licenciaturas, que cobrem as mais diversas áreas educacionais.

2. Data Mining Educacional

A análise e exploração de grandes conjuntos de dados, designada análise de *big data*, requer técnicas analíticas de grande alcance, como as de DM. Trata-se de técnicas que possibilitam a indução de modelos analíticos, de natureza preditiva ou descritiva, de fácil compreensão, consistentes, de elevada precisão e bastante realistas, que se têm revelado muito promissores para melhorar os processos de decisão nas organizações. Por esse motivo, nos últimos anos, tem havido um interesse crescente no uso de DM em estudos relacionados com a melhoria dos resultados educacionais, a qual é designada *educational data mining* (EDM) (Baker, 2010).

Entre as 5 categorias de estudos existentes na literatura de EDM, identificadas na taxonomia recentemente proposta por (Bakhshinategh, Zaiane, ElAtia, & Ipperciel, 2018), destaca-se a modelação do estudante, onde se enquadra a previsão do desempenho académico. Por via deste tipo de estudos é possível estimar, de forma precoce, o valor futuro, ou desconhecido, de algumas variáveis de interesse, contínuas ou categóricas, que permitem inferir o desempenho académico a partir de outros fatores presentes em conjuntos de dados.

Como variáveis contínuas de interesse, poder-se-á mencionar, por exemplo, qualquer indicador que infira o sucesso educacional esperado para os estudantes no final do seu curso, como é o caso de uma métrica que inclua a média final de curso – e.g. (Miguéis, Freitas, Garcia, & Silva, 2018), (Natek & Zwilling, 2014), (Aluko, Adenuga, Kukoyi, Soyngbe, & Oyediji, 2016), (Martins, Miguéis, Fonseca, & Alves, 2019) – ou

as classificações em determinadas unidades curriculares – e.g. (Huang, 2011), (Pascoal, Brito, & Rêgo, 2015), (Costa, Fonseca, Santana, Araújo, & Rego, 2017). Como variáveis de interesse do tipo categórico poder-se-ão mencionar, por exemplo, aquelas que informem se o estudante abandona ou não a sua formação académica (e.g. (Delen, 2010), (Nandeshwar, Menzies, & Nelson, 2011)), se obtém ou não aprovação no final do ano letivo (e.g. (Hoffait & Schyns, 2017)), ou então, se desiste, ou não, de unidades curriculares específicas (e.g. (Kotsiantis, Pierrakeas, & Pintelas, 2003), (Burgos, et al., 2017)).

Por via desta tipologia de estudos é possível identificar, com a devida antecedência, os estudantes que necessitem de apoio, tais como os de baixa motivação, ou com propensão ao insucesso ou abandono académico. Têm também a utilidade de possibilitar a identificação dos fatores que mais contribuem para explicar o (in)sucesso e o abandono académico. Por exemplo, no caso concreto dos estudos subordinados à previsão do abandono académico – o âmbito do presente artigo –, os autores do estudo (Nandeshwar, Menzies, & Nelson, 2011), após uma análise e exploração de um conjunto de dados com informação de cariz demográfico, académico e socioeconómico, processada com recurso aos algoritmos de classificação *One-R*, *C4.5*, *ADTrees*, *Naive Bayes* e redes de polarização radial, concluíram que o historial familiar (educacional e socioeconómico) e o historial de desempenho académico no ensino secundário têm uma relação direta com os estudantes que permaneceram na universidade *Kent State* até à conclusão da sua graduação. Num outro estudo, (Manhães, 2015), prescindindo de informação de cariz socioeconómico e demográfico, e cingindo-se apenas a informação académica que varia no tempo, é proposto um modelo que permite diferenciar, do 1º ao 5º semestres letivos (em cursos de 12 semestres), os alunos do curso de engenharia civil da Universidade do Rio de Janeiro em duas classes distintas: progresso ou não progresso. Os resultados experimentais evidenciaram, para todos os 12 algoritmos classificadores existentes na ferramenta *Weka*, uma capacidade de acerto preditivo superior a 75%.

3. Dados e Metodologia

3.1. Modelo de dados

Para a criação dos modelos que consigam prever o abandono académico dos alunos de licenciatura do IPB usa-se um conjunto vasto de informação curricular e extracurricular do aluno, registada no Sistema de Informação da instituição entre 2007/2008 e 2015/2016. Opta-se por restringir o estudo apenas aos cursos de licenciatura, na sua esmagadora maioria ciclos de 3 anos, por se tratar da principal oferta formativa da instituição e por abranger um conjunto de dados mais completo.

Tendo-se como objetivo o desenvolvimento de dois modelos preditivos distintos, um para ser aplicado no final do 1º semestre e o outro no final do 1º ano letivo, prepararam-se dois *datasets* distintos, designados *semestre1* e *semestre12*, que integram, para além

da variável alvo a prever, 38 e 41 variáveis preditivas, respetivamente. Depois da limpeza de dados e de outras tarefas de pré-processamento, os 2 *datasets* em questão passaram a incorporar, respetivamente, 3373 e 3344 matrículas de licenciaturas iniciadas entre os anos letivos 2007/08 e 2013/14.

3.2. Metodologia

A variável alvo a prever é do tipo binário, assumindo o seu valor um dos seguintes significados: ‘abandona’ ou ‘não abandona’. No atual contexto dever-se-á sempre entender a afirmação ‘não abandona’ como sinónimo de que o aluno ‘conclui’ o seu curso. Note-se que se classificou como ‘abandono’ todas as matrículas referentes a alunos que não tenham qualquer inscrição válida no ano 2016/2017 (último ano letivo com matrículas registadas na base de dados do IPB no período de desenvolvimento deste trabalho) e, cumulativamente, não tenham ainda concluído o seu curso, nem, tão pouco, mudado para outro curso nesse mesmo ano letivo. Todas as matrículas de desfecho indefinido foram naturalmente excluídas do *dataset*.

No que concerne aos potenciais fatores preditores do abandono académico, considerou-se essencialmente a mesma tipologia de fatores mencionados nos trabalhos relacionados de relevo, como os de cariz demográfico, socioeconómico e do contexto curricular dos estudantes. Estes fatores são passíveis de serem classificados em dois importantes subgrupos: os resultados curriculares acumulados e os dados ‘intemporais’ (i.e., todos aqueles cujos valores não se alteram ao longo do percurso escolar do aluno). Na Tabela 1 apresentam-se todos os fatores preditivos considerados neste estudo¹. Cada um dos potenciais fatores preditivos do abandono académico é classificado (3ª coluna da tabela) de acordo com a sua natureza, em cinco categorias distintas: curriculares (C), de matrícula (M), demográficos (D), socioeconómicos (S) e de acesso (A). De salientar que é a categoria C que representa os resultados curriculares acumulados até ao final do 1º ou do 2º semestres, sendo todas as restantes categorias compostas unicamente por dados intemporais.

Na Figura 1 apresenta-se um esquema que ilustra os modelos de previsão a desenvolver. Nele encontram-se representadas as diferentes categorias de fatores preditivos do abandono, usadas como *input* dos algoritmos de DM, tal como identificadas na Tabela 1. Como se procura ilustrar, para o grupo de variáveis curriculares (C) são usados os resultados acumulados ao fim do 1º e 2º semestres escolares do aluno. Mais concretamente, desenvolvem-se dois modelos distintos, um suportado pelos dados curriculares recolhidos ao fim do 1º semestre e o outro suportado pelos dados curriculares recolhidos ao fim do 2º semestre, incorporando este segundo *dataset* os seus dados curriculares na forma agregada (acumulada).

¹ Para uma mais fácil identificação, o nome dos atributos curriculares (os que formam o 1º subgrupo importante de fatores) terminam com o sufixo “_s”.

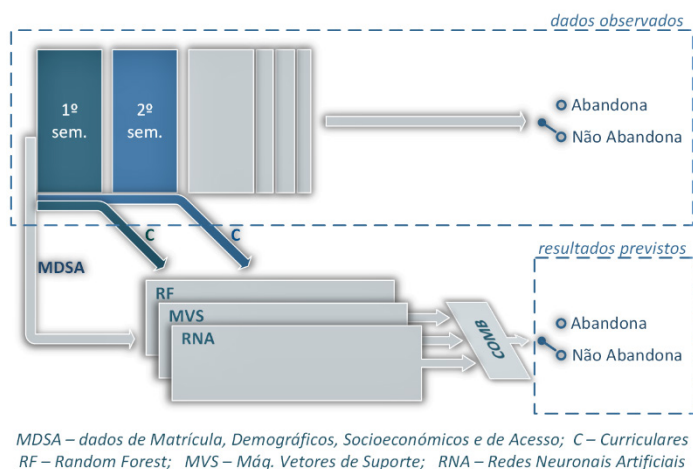


Figura 1 – Esquema ilustrativo do modelo de previsão

id	atributo	cat	tipo	min.. max	significado
1	<i>ano_curricular_s</i>	C	discreto	1..4	ano curricular do aluno no sem. escolar considerado
2	<i>bolseiro_s</i>	C	contínuo ¹	0..1	o aluno foi bolseiro no semestre escolar?
3	<i>cod_estatuto1_s</i>	C	nominal	1..5	tipo de estatuto do aluno no 1º sem. escolar
4	<i>cod_estatuto2_s2</i>	C	nominal	1..5	tipo de estatuto do aluno no 2º sem. escolar
5	<i>cod_freq_tipo1_s</i>	C	nominal	1..7	tipo de frequência do aluno no 1º sem. escolar
6	<i>cod_freq_tipo2_s3</i>	C	nominal	1..7	tipo de frequência do aluno no 2º sem. escolar
7	<i>dir_associativo_s</i>	C	contínuo ²	0..1	o aluno foi dirigente associativo no semestre escolar?
8	<i>ects_aprov_s</i>	C	discreto	0..60	nº de ECTS aprovados no semestre escolar
9	<i>ects_reprov_s</i>	C	discreto	0..60	nº de ECTS reprovados no semestre escolar
10	<i>max_s</i>	C	discreto	0..20	nota máxima das UCs aprovadas no semestre escolar
11	<i>media_s</i>	C	contínuo	0..20	nota média das UCs aprovadas no semestre escolar
12	<i>min_s</i>	C	discreto	0..20	nota mínima das UCs aprovadas no semestre escolar
13	<i>navalr_s</i>	C	discreto	0..18	nº de avaliações sem aprovação no semestre escolar
14	<i>nuca_s</i>	C	discreto	0..10	nº de UCs aprovadas no semestre escolar
15	<i>nucr_s</i>	C	discreto	0..10	nº de UCs reprovadas no semestre escolar
16	<i>vd12_s3</i>	C	contínuo	-20..20	diferença de desempenho do 1º para o 2º semestre

id	atributo	cat	tipo	min.. max	significado
17	<i>cod_curso</i>	M	nominal	1..51	código do curso
18	<i>cod_escola</i>	M	nominal	1..5	código da escola
19	<i>ects_cred_tx</i>	M	discreto	0..100	fração de ECTS que foram creditados ao aluno
20	<i>ects_curso</i>	M	discreto	180..240	número de ECTS do curso
21	<i>deslocado</i>	D	binário	0..1	o aluno está deslocado da sua residência habitual?
22	<i>dist</i>	D	nominal	1..28	distrito de proveniência do aluno
23	<i>dist_n</i>	D	nominal	1..27	distrito de naturalidade
24	<i>idade</i>	D	discreto	17..61	idade no ato da matrícula
25	<i>nacionalidade</i>	D	nominal	1..15	nacionalidade do aluno
26	<i>sexo</i>	D	nominal	1..2	género
27	<i>cod_prof_aluno</i>	S	nominal	1..12	profissão do aluno
28	<i>cod_prof_mae</i>	S	nominal	1..12	profissão da mãe
29	<i>cod_prof_pai</i>	S	nominal	1..12	profissão do pai
30	<i>nivel_esc_mae</i>	S	ordinal	1..13	nível de escolaridade da mãe
31	<i>nivel_esc_pai</i>	S	ordinal	1..13	nível de escolaridade do pai
32	<i>sit_prof_aluno</i>	S	nominal	1..10	situação profissional do aluno
33	<i>sit_prof_mae</i>	S	nominal	1..10	situação profissional da mãe
34	<i>sit_prof_pai</i>	S	nominal	1..9	situação profissional do pai
35	<i>fase</i>	A	ordinal	1..3	fase de acesso
36	<i>media_acesso</i>	A	contínuo	0..200	nota de acesso ao ensino superior
37	<i>n10_11_acesso</i>	A	contínuo	0..200	média dos 10º e 11º anos
38	<i>n12_acesso</i>	A	contínuo	0..200	média do 12º ano
39	<i>opcao_acesso</i>	A	ordinal	1..6	ordem da opção na candidatura ao curso
40	<i>ordem_acesso</i>	A	ordinal	1..322	ordem de acesso entre os colocados no curso
41	<i>pi_acesso</i>	A	contínuo	0..200	nota média das provas de ingresso

Tabela 1 – Variáveis explicativas usadas na previsão do abandono

Com a sigla MDSA pretende-se representar o conjunto de todas as restantes categorias de variáveis, comuns aos dois modelos a desenvolver: variáveis de Matrícula, Demográficas, Socioeconómicas e de Acesso (ao ensino superior).

Cada um dos *datasets*, *semestre1* e *semestre12*, é ainda subdividido em 3 subconjuntos, para serem usados nas fases de aprendizagem, validação e teste dos modelos de previsão desenvolvidos. Com o intuito de se modelar de uma forma mais fiel o processo de previsão real que se pretende implementar no futuro, opta-se por um particionamento temporal. Com esta opção procura-se garantir que a previsão de abandono relativamente a uma dada matrícula se faça sempre a partir de dados já observados no passado, que será isso que acontecerá em contexto real. Tendo em conta a distribuição das matrículas ao longo do período em análise (iniciadas entre 2007/08 e 2013/14), opta-se pelo particionamento caracterizado na Tabela 2.

dataset	total	Treino (2007/08 a 2010/11)	Validação (2011/12)	Teste (2012/13 e 2013/14)
<i>semestre1</i>	3373	58.7%	18.5%	22.8%
<i>semestres12</i>	3344	58.8%	18.6%	22.5%

Tabela 2 – Dimensão dos conjuntos usados para treino, validação e teste

É também objetivo do atual estudo avaliar se através da geração de um modelo de conjunto, que integre os 3 algoritmos preditivos, se consegue minimizar o erro de previsão do abandono. Para o efeito, explora-se a combinação de 3 dos mais populares algoritmos de DM em abordagens de classificação: as *random forests* (RF), as máquinas de vetores de suporte (MVS) e as redes neuronais artificiais (RNA). A opção por estes 3 algoritmos justifica-se em virtude da literatura de EDM demonstrar que apresentam desempenhos competitivos (capacidade de aprendizagem e generalização) face a outro tipo de classificadores.

No desenvolvimento de cada um dos dois modelos propostos, começa-se por treinar e afinar, de forma separada, os três algoritmos de DM suportados pelo conjunto completo de variáveis preditivas disponíveis (38 e 41 variáveis).

Seguidamente, com o intuito de se identificarem os fatores mais explicativos do abandono, tenta-se ajustar o conjunto de variáveis que suportam o modelo, selecionando apenas as que se revelem importantes para a previsão pretendida (*feature selection*). Para esse efeito, adota-se o método de seleção progressiva (*forward search*), em que as variáveis vão sendo selecionadas uma a uma, num processo iterativo, juntando-se sempre às já selecionadas aquela que das restantes conduza a um maior incremento no valor médio de desempenho dos três algoritmos de DM — é este critério de otimização, que tendo por base o desempenho agregado dos 3 modelos, permite combinar num único resultado o processo de seleção. O processo termina no momento que esse incremento seja nulo ou negativo. Desta forma, ainda que se usem três algoritmos, apenas se obtém como resultado um único subconjunto de variáveis explicativas para cada um dos 2 modelos.

Depois de encontradas as variáveis mais explicativas, averigua-se qual a importância relativa das mesmas, medindo-se o impacto de cada uma delas, na explicação da variável alvo, através de uma técnica de análise de sensibilidade que combina os três algoritmos de DM usados no estudo. Mais concretamente, a importância relativa de uma qualquer variável de entrada na explicação da variável resposta é encarada como sendo a razão entre a perda de acurácia que resulte da sua não inclusão e a acurácia do modelo com todas as suas variáveis de entrada. Dessa forma, quanto maior for a deterioração do modelo com a exclusão da variável específica, maior é o nível de importância dessa variável.

Tanto na fase de *feature selection*, como nas simulações relacionadas com o cálculo da importância relativa das variáveis explicativas, tem-se sempre o cuidado de reafinar cada um dos algoritmos de DM para cada um dos conjuntos diferentes de variáveis independentes que se considere. Os dados de validação, juntamente com os de treino, são usados para todo o processo de afinação dos modelos e de seleção das variáveis mais

explicativas. Já os dados de teste são deixados de parte, para que, através deles, se possa proceder, no fim, à avaliação da capacidade de generalização das soluções que vierem a ser encontradas. Nessa avaliação final, tal como se espera que venha a acontecer em contexto real, as classificações atribuídas pelos três algoritmos de DM são combinadas de forma a conseguir-se um único veredicto. Propõe-se, como forma de combinação, que seja sempre escolhido o valor mais votado entre as três classificações.

Para comparação de desempenho das diferentes configurações dos modelos de previsão considerados neste estudo usa-se, como métrica de avaliação, o valor AUC (*Area Under ROC Curve*). Uma medida que enfatiza a especificidade e a sensibilidade do modelo classificador, que no caso em estudo, se traduzirá, respetivamente, nas proporções de ‘abandonos’ e de ‘não abandonos’ classificados corretamente pelo modelo.

4. Implementação e Resultados

Para um mais fácil entendimento dos resultados apresentados nas próximas secções, mostra-se na Figura 2 um esquema que tenta ilustrar os modelos de previsão desenvolvidos e, em particular, os diferentes subconjuntos de preditores que lhes dão suporte.

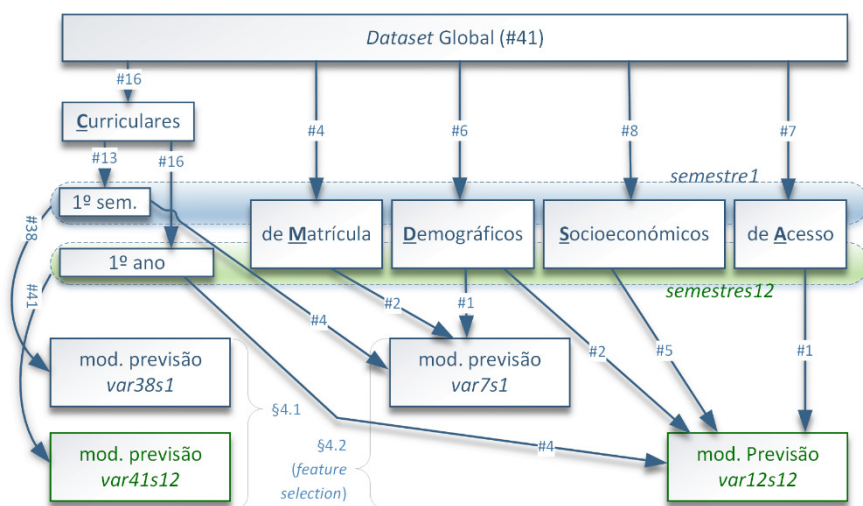


Figura 2 – Diagrama ilustrativo dos subconjuntos de preditores usados nos diferentes modelos de previsão

4.1. Treinamento em separado dos 3 algoritmos de DM, suportados por todas as variáveis independentes

De forma a se conseguir uma primeira perceção da capacidade preditiva dos modelos, começou-se por treinar separadamente cada um dos três algoritmos de DM, sempre suportados pelo conjunto completo das potenciais variáveis explicativas. Com o intuito de se maximizar a capacidade de previsão, houve o cuidado de afinar os três algoritmos de

classificação para ambos os *datasets* *semestre1* e *semestres12*, avaliando o desempenho desses algoritmos para diferentes valores de alguns dos seus hiperparâmetros mais importantes. Na Tabela 3 podem ser encontrados os melhores valores obtidos nesse processo de afinação².

Tendo em conta os valores ótimos encontrados, percebe-se, como esperado, que a capacidade preditiva do modelo aumenta quando são utilizados para o *dataset* os dados curriculares acumulados ao fim do 2º semestre escolar do aluno (0.8896, quando com dados do 1º semestre não vai além de 0.8630). A partir da mesma tabela, também é possível, desde logo, concluir que é o algoritmo redes neuronais artificiais que demonstra ter maior capacidade preditiva no contexto do problema que está a ser tratado, não se notando diferença significativa de desempenho nas outras duas técnicas de classificação.

dataset	RF			MVS		RNA		
	AUC médio	mtry	AUC	cost	AUC	size	decay	AUC
<i>semestre1</i>	0.8630	5	0.8548	2 ⁵	0.8554	50	1	0.8787
<i>semestres12</i>	0.8896	3	0.8889	2 ³	0.8792	1	10 ^{-1/3}	0.9007

Tabela 3 – Valores ótimos encontrados para os três modelos de classificação

4.2. Seleção dos principais fatores explicativos do abandono

Depois de concluída a fase de treinamento e afinação dos 3 algoritmos usados, procedeu-se, com os mesmos dados de treino e validação, a um ajustamento mais minucioso do conjunto de variáveis que suportam os modelos, selecionando, apenas, as que se revelam mais explicativas do abandono. Os resultados das simulações produzidas nos processos iterativos de seleção são reportados nas tabelas 4 e 5.

ord.	variável	RF			MVS		RNA		
		AUC médio	mtry	AUC	cost	AUC	size	decay	AUC
1 ^a	<i>ects_aprov_s</i>	0.7955	1	0.7359	2 ⁻¹	0.8198	5	10 ^{-8/3}	0.8308
2 ^a	<i>ects_cred_tx</i>	0.8236	1	0.7988	2 ⁹	0.8243	20	10 ^{-7/3}	0.8476
3 ^a	<i>ects_reprov_s</i>	0.8399	1	0.8308	2 ³	0.8236	10	10 ^{-8/3}	0.8653
4 ^a	<i>cod_escola</i>	0.8453	2	0.8226	2 ⁻⁵	0.8404	10	10 ^{-4/3}	0.8728
5 ^a	<i>media_s</i>	0.8559	1	0.8443	2 ⁻³	0.8455	10	10 ^{-5/3}	0.8778
6 ^a	<i>sexo</i>	0.8621	1	0.8641	2 ⁻³	0.8456	20	10 ^{-3/3}	0.8766
7 ^a	<i>bolseiro_s</i>	0.8672	2	0.8702	2 ⁻³	0.8440	20	10 ^{-5/3}	0.8872
8 ^a	<i>dir_associativo_s</i>	0.8671	3	0.8695	2 ⁻³	0.8451	20	10 ^{-3/3}	0.8867

Tabela 4 – Variáveis selecionadas pela aplicação do método *forward search* combinado ao *dataset* do 1º semestre

² Hiperparâmetros considerados na afinação: mtry – número de variáveis escolhidas aleatoriamente para o critério de divisão em cada nodo das árvores das RF; cost – fator de penalização do erro; size – número de neurónios que compõem a camada escondida das RNA; decay – decaimento da taxa de aprendizagem.

Desses resultados conclui-se que no final do 1º semestre escolar do aluno, são 7 as variáveis que mais explicam a sua propensão para o abandono (modelo de previsão que se passará a identificar pela mnemónica *var7s1*), 4 das quais da dimensão curricular, 2 representando dados de matrícula e uma de cariz demográfico – cf. Figura 2. Já para os dados recolhidos ao fim do 2º semestre, o processo de seleção terminou num subconjunto de variáveis mais alargado. Tal como mostra a Tabela 5, são 12 as variáveis que se revelam mais explicativas ao fim do 2º semestre (modelo que se passará designar *var12s12*), não estando nelas representada apenas a categoria M, respeitante aos dados de matrícula – cf. Figura 2.

ord.	variável	AUC médio	RF		MVS		RNA		
			mtry	AUC	cost	AUC	size	decay	AUC
1 ^a	<i>ects_reprov_s</i>	0.8568	1	0.8119	2 ⁻⁵	0.8793	1	10 ^{-8/3}	0.8793
2 ^a	<i>cod_prof_mae</i>	0.8740	1	0.8564	2 ⁹	0.8818	5	10 ^{-1/3}	0.8839
3 ^a	<i>n10_11_acesso</i>	0.8797	1	0.8749	2 ⁻¹	0.8811	5	10 ^{-1/3}	0.8832
4 ^a	<i>idade</i>	0.8855	1	0.8904	2 ⁵	0.8818	5	10 ^{-1/3}	0.8842
5 ^a	<i>media_s</i>	0.8883	1	0.8897	2 ¹³	0.8821	2	10 ^{-6/3}	0.8931
6 ^a	<i>vd12_s</i>	0.8899	2	0.8867	2 ¹⁵	0.8894	1	10 ^{-5/3}	0.8935
7 ^a	<i>sit_prof_mae</i>	0.8909	1	0.8934	2 ¹¹	0.8844	1	10 ^{-1/3}	0.8950
8 ^a	<i>sit_prof_aluno</i>	0.8921	2	0.8952	2 ⁹	0.8846	2	10 ^{-1/3}	0.8964
9 ^a	<i>nacionalidade</i>	0.8941	2	0.8928	2 ¹³	0.8912	2	10 ^{-1/3}	0.8983
10 ^a	<i>dir_associativo_s</i>	0.8959	2	0.9007	2 ¹⁵	0.8903	2	10 ^{0/3}	0.8967
11 ^a	<i>nivel_esc_pai</i>	0.8975	2	0.9025	2 ¹¹	0.8906	1	10 ^{0/3}	0.8993
12 ^a	<i>cod_prof_aluno</i>	0.8977	2	0.9051	2 ¹¹	0.8883	1	10 ^{0/3}	0.8997
13 ^a	<i>min_s</i>	0.8962	3	0.9045	2 ⁹	0.8849	1	10 ^{0/3}	0.8993

Tabela 5 – Variáveis seleccionadas pela aplicação do método *forward search* combinado ao dataset dos 2 primeiros semestres

Para uma mais fácil referenciação, os modelos de previsão que integram todas as variáveis de entrada disponíveis serão doravante identificados simplesmente por *var38s1* (modelo suportado por todas as 38 variáveis do *dataset* obtido no final do 1º semestre) e *var41s12* (modelo suportado pelas 41 variáveis do 2º semestre), nomenclatura já usada no diagrama da Figura 2.

4.3. Avaliação da capacidade de generalização dos modelos encontrados

Concluídos os processos de treino, afinação e *feature selection*, os modelos obtidos são avaliados com base no subconjunto de teste, de forma a avaliar a sua verdadeira capacidade preditiva e em especial a sua capacidade de generalização. Cada um dos quatro modelos desenvolvidos, descritos nas 2 secções anteriores, foram então usados para prever os abandonos escolares registados no subconjunto de dados de teste, tendo-se obtido os resultados expressos na Tabela 6, a qual também inclui, para efeitos de comparação, os resultados anteriormente obtidos com os dados de validação.

modelo	RF					MVS					RNA	
	AUC médio		mtry	AUC		cost	AUC		size	decay	AUC	
	valid	teste		valid	teste		valid	teste			valid	teste
var38s1	0.8630	0.7661	5	0.8548	0.7778	2 ⁵	0.8554	0.7533	50	1	0.8787	0.7671
var41s12	0.8896	0.7825	3	0.8889	0.8040	2 ³	0.8792	0.7639	1	10 ^{-1/3}	0.9007	0.7795
var7s1	0.8672	0.7303	2	0.8702	0.7384	2 ⁻³	0.8440	0.7074	20	10 ^{-5/3}	0.8872	0.7451
var12s12	0.8977	0.7582	2	0.9051	0.7605	2 ¹¹	0.8883	0.7548	1	1	0.8997	0.7592

Tabela 6 – Aplicação dos modelos encontrados aos dados deixados para teste

Comparando o AUC médio obtido com os dados de teste, com o que se tinha obtido com os dados de validação, constata-se, como já esperado, que os valores do AUC baixam - cerca de uma décima nos modelos que usam todas as variáveis disponíveis e perto de 1.4 décimas nos modelos que sofreram redução de variáveis. Estes mesmos resultados evidenciam que os modelos em que se procedeu à seleção dos fatores mais explicativos (modelos *var7s1* e *var12s12*), embora se tenham revelado melhores que os modelos *var38s1* e *var41s12* nos dados de validação, infelizmente, são aqueles que apresentam pior eficácia com os dados de teste. Esta constatação revela que a redução de variáveis nos modelos teve como consequência alguma diminuição da sua capacidade de generalização. Ainda que se preveja algum agravamento no desempenho desses modelos quando aplicados em contexto real, a utilidade e pertinência do processo de seleção de variáveis não estará em causa, dado proporcionar um conjunto de outras vantagens, designadamente, permitir, desde logo, identificar os principais fatores que expliquem as variáveis alvo, ajudar a eliminar variáveis redundantes, diminuir a complexidade computacional do modelo e facilitar, quer a sua interpretabilidade, quer a sua aplicação em contexto real.

No que respeita ao comportamento do modelo combinado, quando exposto aos dados de teste, a Tabela 7 apresenta os respetivos valores de AUC obtidos, bem como a média e melhores valores de AUC conseguidos com os 3 algoritmos de classificação que o integram, para efeitos de comparação.

modelo	melhor AUC	AUC médio	AUC mod. Combinado
<i>var38s1</i>	0.7778 (RF)	0.7661	0.7757
<i>var41s12</i>	0.8040 (RF)	0.7825	0.8032
<i>var7s1</i>	0.7451 (RNA)	0.7303	0.7495
<i>var12s12</i>	0.7605 (RF)	0.7582	0.7633

Tabela 7 – Comparação do desempenho do modelo combinado com o desempenho dos 3 algoritmos de classificação que o integram, usando dados de teste

Os resultados tabelados permitem, também eles, reafirmar que o modelo combinado apresenta um desempenho superior ao desempenho médio dos classificadores em

separado. Repare-se, inclusivamente, que praticamente iguala o desempenho do melhor dos classificadores, qualquer que seja o conjunto de variáveis de entrada e *dataset* considerado. De forma a se ter uma outra perspetiva do comportamento de cada um dos 4 modelos combinados de previsão do abandono, sobrepõem-se na Figura 3 as respetivas curvas ROC.

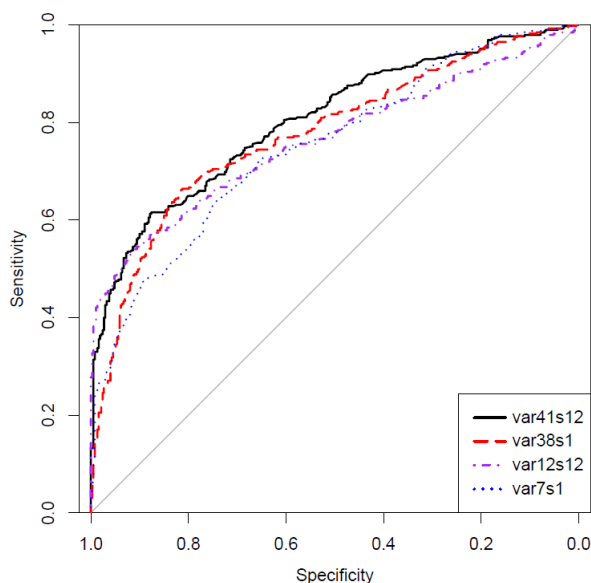


Figura 3 – Curvas ROC dos modelos de classificação combinada

Não sendo facilmente perceptíveis, na figura, as diferenças de desempenho entre os vários classificadores, é possível, ainda assim, perceber-se que a curva que mais se aproxima do vértice que caracteriza a condição de otimalidade (especificidade=1 e sensibilidade=1) é a do modelo *var41s12*, e a que menos se aproxima é a do modelo *var7s1*. Estes dois factos, combinados, corroboram constatações já feitas anteriormente de que o desempenho do modelo de previsão diminui ligeiramente com a seleção das variáveis de entrada (*var7s1* e *var12s12*) e aumenta com a escolha para dados de *input* os resultados do 2º semestre (*var41s12* e *var12s12*).

Ainda que os modelos com variáveis de entrada selecionadas percam alguma da sua capacidade de generalização face aos modelos *var38s1* e *var41s12*, não deixa de ser interessante o nível de desempenho que, mesmo assim, revelam ter quando aplicados a dados completamente novos. Pelos resultados obtidos, será de esperar um AUC em torno dos 0.75 na previsão dos abandonos escolares, quando realizada no final do 1º semestre escolar e a partir de 7 variáveis explicativas (modelo *var7s1*), e um AUC um pouco maior (acima dos 0.76) na previsão realizada ao fim do 2º semestre, com base em 12 variáveis (modelo *var12s12*) – cf. Tabela 7.

4.4.Importância relativa dos principais fatores explicativos

Depois de encontrado o conjunto dos fatores mais explicativas do abandono, a fim de diferenciar qual a influência das múltiplas dimensionalidades do estudante, estabeleceu-se entre elas uma ordem de relevância, em termos da sua importância para a previsão.

A importância relativa dos fatores explicativos foi então determinada para os modelos *var7s1* e *var12s12*, encontrando-se os seus valores representados, respetivamente, nos gráficos das figuras 4 e 5.

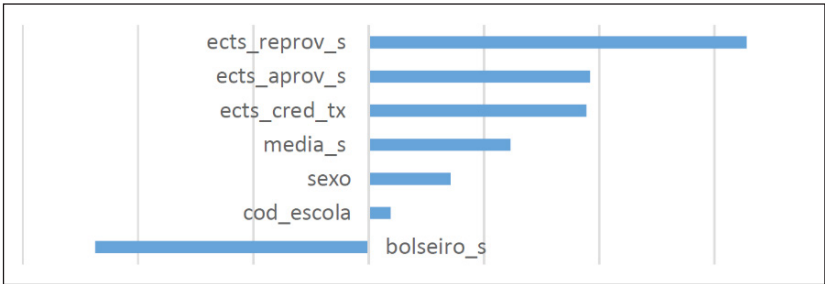


Figura 4 – Importância relativa das variáveis explicativas do modelo *var7s1*

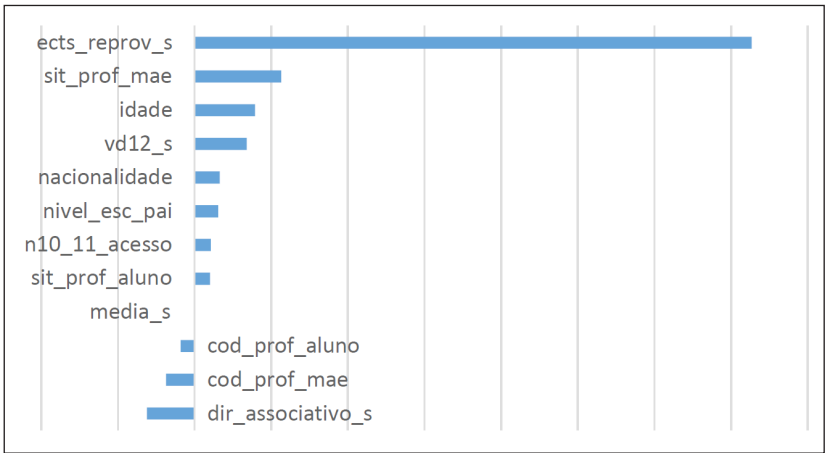


Figura 5 – Importância relativa das variáveis explicativas do modelo *var12s12*

O aspeto que, desde logo, sobressai em ambos os modelos, é a existência de variáveis com impacto negativo na previsão do abandono. Ainda que não seja o resultado que há partida mais se esperaria, não se deverá cair na tentação de remover essas variáveis, pois estar-se-ia, erradamente, a reconfigurar os modelos com base em dados de teste. Outra particularidade que também sobressai dos resultados obtidos, é a elevada preponderância

que uma única variável tem sobre as restantes no modelo de previsão aplicado ao fim do 2º semestre. Trata-se da variável *ects_reprov_s* (número de ECTS reprovados), um dos principais indicadores conhecidos de desempenho curricular do aluno. Esse facto, exposto de forma evidente na representação gráfica da Figura 5, mostra a grande influência que o desempenho curricular do aluno, no seu ainda curto percurso escolar, já tem na sua propensão para o abandono. Também os resultados do modelo aplicado ao fim do 1º semestre revelam, de alguma forma, esse tipo de influência. Ainda que não se destaquem das restantes, as variáveis *ects_reprov_s* e *ects_aprov_s* (número de ECTS aprovados) acabam por ser as duas variáveis mais explicativas.

A razão para não constar nas 12 variáveis do modelo var12s12 uma variável tão “importante” como a *ects_aprov_s*, deve-se ao facto de a mesma apresentar um elevado grau de correlação com a variável *ects_reprov_s*, já incluída no modelo. Acredita-se que esta é também a razão para a variável *ects_reprov_s* não assumir maior preponderância no modelo var7s1.

5. Conclusões

Com o objetivo de se tentar identificar, logo numa fase precoce, os alunos das licenciaturas do IPB que apresentem maior propensão para o abandono académico, desenvolveram-se dois modelos de previsão distintos, um suportado pelos dados recolhidos no final do 1º semestre escolar do aluno e o outro suportado pelos dados acumulados até ao final do seu 2º semestre escolar. Para cada um dos modelos foi desenvolvida uma solução que combina três importantes técnicas de DM: os algoritmos de classificação RF, MVS e RNA. Ainda que composto por três algoritmos independentes, conseguiu-se encontrar um esquema, baseado no método *forward search*, através do qual foi possível chegar a um único subconjunto de variáveis, consideradas mais explicativas, para suporte do modelo combinado. Com essa metodologia, foram 7 as variáveis que, no final do 1º semestre escolar, se revelaram mais explicativas do abandono e 12 as que se revelaram mais explicativas no final do 2º semestre.

Através de um estudo posterior de análise de sensibilidade percebeu-se a grande influência que tem, na propensão para um futuro abandono, o desempenho curricular que o aluno apresenta logo no seu 1º ano de formação. Essa influência é evidenciada no final do 1º semestre pela importância do número de ECTS quer aprovados quer reprovados, e no final do 2º semestre unicamente pela importância do número de ECTS reprovados, mas neste caso assumindo esse fator uma elevada preponderância sobre todos os restantes. Por conseguinte, ambos os modelos indiciam que as prioridades de intervenção da gestão académica, no combate ao abandono, deverão estar centradas numa supervisão atenta, sobretudo, sobre os estudantes que apresentem logo no seu primeiro ano baixo rendimento académico.

Ainda que já se esperasse, através do conhecimento empírico, que o número de ECTS (ou o número de unidades curriculares) que o aluno consegue ou não concluir logo no seu primeiro ano de estudos fosse um importante preditor do abandono, esta investigação vem confirmar, com recurso a métodos científicos, a veracidade dessa relação, em consonância com outros estudos já publicados.

Os resultados deste estudo revelam-se de crucial importância uma vez que, no caso concreto do IPB, os índices de abandono são muito preocupantes, chegando a cerca de 40% os alunos que, no conjunto de dados analisado, acabam por não concluir a sua licenciatura. O conhecimento emanado deste estudo será fundamental para a delineação de medidas preventivas urgentes, precoces e precisas, que levem à diminuição dos índices de evasão escolar.

Agradecimentos

Este trabalho foi suportado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do Projeto UID/EEA/04131/2019. Agradece-se igualmente ao IPB, e em particular ao seu pró-presidente para os Sistemas de Informação, Prof. Doutor Albano Alves, pela disponibilização dos dados analisados no presente estudo.

Referências

- Aluko, R. O., Adenuga, O. A., Kukoyi, P. O., Soyingbe, A. A., & Oyediji, J. O. (2016). Predicting the academic success of architecture students by pre-enrolment requirement: using machine-learning techniques. *Construction Economics and Building*, 16(4), 86-98.
- Baker, R. S. (2010). Data mining for education. *International encyclopedia of education*, 7(3), 112-118.
- Bakhshinategh, B., Zaiane, O. R., ElAtia, S., & Ipperciel, D. (2018). Educational data mining applications and tasks: A survey of the last 10 years. *Education and Information Technologies*, 23(1), 537-553.
- Burgos, C., Campanario, M. L., Peña, D. d., Lara, J. A., Lizcano, D., & Martínez, M. A. (2017). Data mining for modeling students' performance: A tutoring action plan to prevent academic dropout. *Computers & Electrical Engineering*.
- Costa, E. B., Fonseca, B., Santana, M. A., Araújo, F. F., & Rego, J. (2017). Evaluating the effectiveness of educational data mining techniques for early prediction of students' academic failure in introductory programming courses. *Computers in Human Behavior*, 73, 247-256.
- Delen, D. (2010). A comparative analysis of machine learning techniques for student retention management. *Decision Support Systems*, 49(4), 498-506.
- Hoffait, A.-S., & Schyns, M. (2017). Early detection of university students with potential difficulties. *Decision Support Systems*, 101, 1-11.
- Huang, S. (2011). *Predictive modeling and analysis of student academic performance in an engineering dynamics course*. (Doctoral Thesis in Engineering Education), Utah State University, Logan, Utah, United States.
- Kotsiantis, S. B., Pierrakeas, C., & Pintelas, P. E. (2003). Preventing student dropout in distance learning using machine learning techniques. *In International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (pp. 267-274). Springer.

- Manhães, L. M. (2015). *Predição Do Desempenho Acadêmico De Graduandos Utilizando Mineração De Dados Educacionais*. (Doctoral Thesis) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Martins, M., Miguéis, V., Fonseca, D., & Alves, A. (2019). A Data Mining Approach for Predicting Academic Success - A Case Study. Em *Information Technology and Systems. ICITS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 918, pp. 45-56). Springer.
- Miguéis, V. L., Freitas, A., Garcia, P. J., & Silva, A. (2018). Early segmentation of students according to their academic performance: A predictive modelling approach. *Decision Support Systems*, 115, 36-51.
- Nandeshwar, A., Menzies, T., & Nelson, A. (2011). Learning patterns of university student retention. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14984-14996.
- Natek, S., & Zwillig, M. (2014). Student data mining solution-knowledge management system related to higher education institutions. *Expert systems with applications*, 41(14), 6400-6407.
- Pascoal, T. A., Brito, D. M., & Rêgo, T. G. (2015). Uma abordagem para a previsão de desempenho de alunos de computação em disciplinas de programação. *Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE*, 2015, 454-458.

Apoio à Reabilitação de Pacientes Utilizando Dispositivo de Reconhecimento de Gestos

Sergio Godoy¹, Alexandre Brandão^{2,3}, Diego Dias^{3,4}, Gabriela Castellano^{2,3}, Marcelo P. Guimarães^{1,5}

sergioaugustogodoy@gmail.com, abrandao@ifi.unicamp.br, diegocolombo.dias@gmail.com, gabriela@ifi.unicamp.br, marcelodepaiva@gmail.com

¹ Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, Brasil

² University of Campinas, Campinas, Brasil

³ Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology, Campinas, Brasil

⁴ Federal University of São João del Rei, Minas Gerais, Brasil

⁵ Federal University of São Paulo, São Paulo, Brasil

Pages: 204–216

Resumo: O desenvolvimento de novas tecnologias para o acompanhamento e quantificação de tratamentos de reabilitação vem se destacando com o uso de dispositivos que permitem rastrear os movimentos dos pacientes. Estes dispositivos possuem unidades inerciais ou sensores de profundidade para reconhecer tal movimento e combinar as variáveis cinemáticas para compor o movimento completo. Neste trabalho foi desenvolvida uma solução de rastreamento de movimentos, a partir do dispositivo Kinect, para quantificar os valores de amplitude de movimento durante o processo de reabilitação de pacientes com dificuldades motoras. Nela, o terapeuta grava padrões de exercícios para cada paciente, utilizando dados relacionados à angulação e velocidade para posterior análise e acompanhamento da evolução do paciente. Esses dados são analisados a fim de verificar o percentual de acertos dos movimentos executados pelos pacientes e de sua melhora no decorrer da reabilitação. Dessa forma, facilita-se a execução dos exercícios pelos pacientes, oferecendo feedback e parâmetros do tratamento para o terapeuta em tempo real.

Palavras-chave: Cinesilogia; Reabilitação; Sensor de Reconhecimento de Gestos; Registro de Dados.

Supporting Patient Rehabilitation Using Motion Sensor

Abstract: The development of new technologies for the monitoring and quantification of rehabilitation treatments has stood out with the use of devices that allow the tracking of patients' movements. These devices have inertial units or depth sensors to recognise such motion and combine the kinematic variables to compose the complete motion. In this paper, a motion tracking solution was developed using the Kinect device to quantify the range of motion values during

the rehabilitation process of patients with motor disabilities. In this solution, the therapist records exercise patterns for each patient, using angulation and velocity-related data for further analysis and follow-up of the patient's evolution. These data could be analysed to verify the percentage of correct movements performed by the patients and their improvement during the rehabilitation. This feature facilitates the execution of the exercises by the patients, providing feedback and treatment parameters to the therapist in real-time.

Keywords: Kinesiology; Rehabilitation; Gesture Recognition Sensor; Data Recording.

1. Introdução

Reabilitação é um processo em que os pacientes afetados, física ou cognitivamente, por uma lesão ou doença, se recuperam completamente ou parcialmente. A reabilitação tem como objetivo manter a independência e a melhora da qualidade de vida dos pacientes, o que afeta diretamente familiares e cuidadores. Este processo exige o acompanhamento de terapeutas, pode ser muito prolongado (em casos de neuroreabilitação) e requer volume e frequência durante o tratamento, ou seja, muitas repetições para o paciente e grande dedicação de todos os envolvidos, tanto dos familiares quanto dos profissionais da área de saúde.

Reabilitação é um recurso clínico importante, pois em diversas situações, como em pacientes que sofreram um acidente vascular cerebral (AVC), é capaz de melhorar a sua função motora e cortical (Kan, 2011). A terapia motora ou cognitiva é utilizada em diversas situações, como: vítimas de acidentes automobilísticos, pacientes com Parkinson ou Alzheimer, síndrome de Down, lesão cerebral ou da medula espinhal, escoliose, crianças com poliomielite, idosos com artrites e reumatismo, e reabilitação de lesões musculoesqueléticas em desportistas.

No processo de reabilitação, o goniômetro universal é um instrumento manual utilizado para a medição da amplitude de movimento (ADM) articular, e por ter um baixo custo (inferior a U\$20,00) é comum em clínicas e centros de saúde. Existem outros modelos, como o inclinômetro digital, softwares 2D de análise do movimento e laboratórios de biomecânica (ou laboratórios de marcha) que utilizam marcadores corporais para o rastreamento tridimensional dos movimentos de pacientes/atletas.

Independentemente do instrumento, o processo de reabilitação demanda a quantificação do tratamento com medidas confiáveis e precisas. Segundo Eliasziw (1994), isto não acontece quando, por exemplo, é utilizado o goniômetro, que é influenciado pela habilidade do profissional (erro do operador), da articulação avaliada e do movimento que está sendo testado.

Este artigo tem como objetivo apresentar um sistema de apoio às sessões de reabilitação dos membros superiores e inferiores baseado no uso do Microsoft Kinect®. Este sistema visa possibilitar a mensuração e o registro da ADM durante as sessões de terapia, o que, por sua vez, possibilita avaliar a evolução funcional do paciente ou pode também evidenciar que a estratégia escolhida pelo profissional não está atingindo o resultado esperado. Este tipo de tecnologia possibilita que o paciente visualize os dados de ADM em tempo real, tornando-se um fator motivador para o engajamento na terapia.

A Figura 1 apresenta uma visão geral do sistema desenvolvido, que é composto por um módulo voltado para o terapeuta (“Tela Terapeuta”), onde é possível realizar a configuração da sessão (por exemplo, seleção do(s) membro(s), número de repetições e taxa de acertos) e, além disso, gravar o vídeo-exemplo da movimentação esperada (módulos “Armazenamento de Dados” e “Histórico”). O sistema também possui um módulo para a visualização dos vídeos gerados pelo paciente e a visualização dos dados no formato texto e/ou gráfico (módulo “Análise e Predição”). Um outro módulo é voltado para o paciente (“Tela Paciente”), no qual o paciente visualiza o vídeo com o exemplo da movimentação esperada e executa as operações. Durante a execução dos exercícios é apresentada para o paciente a quantidade de repetições já realizadas de forma correta e quantas repetições restam para concluir a sessão.



Figura 1 – Integração do sistema de apoio às sessões de reabilitação.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, a Seção 3 mostra os detalhes do sistema desenvolvido, a Seção 4 comenta os testes realizados e os resultados e, finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

Brandão et al. (2016) apresenta um software utilizado na mensuração da amplitude de movimentos (ADM) das juntas superiores de pacientes de fisioterapia em recuperação, utilizando o dispositivo de reconhecimento de gestos Kinect®. Nele os autores desenvolveram um software, denominado RehabGesture, que permite a medição da

ADM no plano coronal das juntas do cotovelo de 0° a 145° e das juntas dos ombros, de 0° a 180° . Estudos prévios (Fernández-Baena et al., 2012 e Gauthier and Cretu, 2014) já evidenciavam a aplicação do dispositivo em tratamentos de reabilitação, sua precisão para o cálculo de ângulos articulares e o reduzido custo da tecnologia, disponível no mercado desde 2011.

No estudo de Esfahlani et al. (2018) é apresentado um jogo em terceira pessoa, voltado para o auxílio de pacientes com problemas neurológicos que foram submetidos a tratamentos fisioterapêuticos de postura corporal, incluindo atividades da vida diária (AVDs) com os membros superiores. Este jogo (denominado ReHabgame) desenvolvido para a interação com o dispositivo Kinect®, auxilia os pacientes a aumentar sua consciência corporal e na melhora da rotina de tratamento dos membros superiores.

Cunha Neto et al. (2018) apresenta uma solução de software (GoNet v2), controlada via Kinect®, para ser utilizada como um instrumento de evolução dinâmica e automática dos processos de reabilitação biomecânicos. Foram realizados testes com flexão e extensão do cotovelo, abdução e flexão do ombro, desvio radial e ulnar, sendo que os dados coletados foram comparados com medições feitas com um goniômetro.

Çubukçu & Yüzgeç et al. (2017) mostra uma aplicação desenvolvida para pacientes com problemas no complexo articular do ombro. A aplicação foi desenvolvida em linguagem computacional C#, para o dispositivo Kinect®, e cálculos entre a distância das articulações (pontos capturados). Esta distância entre os pontos é utilizada para determinar quando o usuário realiza os exercícios de maneira correta. Foram executados seis tipos de exercícios para pacientes com lesões musculoesqueléticas nos membros superiores e inferiores.

Lili Srör et al. (2018) demonstra um software que utiliza um suporte de manipulação de movimento passivo e duas câmeras 3D, um Kinect® e um *Leap Motion* (dispositivo de rastreamento manual), além do uso de um jogo de realidade virtual (RV) para aumentar a motivação. Este sistema foi desenvolvido para treinar movimentos dos braços no plano horizontal.

Funabashi et al. (2018) trata do desenvolvimento de um jogo sério denominado AGaR (*Association Game for Rehabilitation*), implementado em RV com conceitos de interação natural do usuário (NUI, do inglês *Natural User Interface*). Orientado para auxiliar pacientes que tiveram um AVC hemorrágico (popularmente conhecido como derrame), a solução permite aos pacientes executarem exercícios físicos repetitivos com os membros superiores e aos fisioterapeutas acompanharem o processo de reabilitação. O jogo utiliza o Kinect® como dispositivo de interação para reconhecer os movimentos dos pacientes e convertê-los em comandos de entrada para o sistema AGaR.

Phommahavong et al. (2015) fizeram uma comparação do cálculo dos ângulos das articulações feito pelo Kinect® com um sistema de captura de movimento de alta resolução (laboratório de marcha). Eles verificaram as coordenadas dos pontos capturados e os ângulos gerados por essas coordenadas. A gravação das imagens e das posições dos marcadores em posição tridimensional foi feito pelo Software Vion Nexus. Foram testados os ângulos do cotovelo, ombro e quadril e encontradas variações entre os sistemas de $2,7^{\circ}$ a $14,2^{\circ}$.

Seung Hak Lee et al. (2015) apresentam um estudo sobre a medição da ADM dos ombros, em pacientes saudáveis e pacientes com capsulite adesiva do ombro, conhecida popularmente como ombro congelado. Foram utilizados um goniômetro e o dispositivo Kinect® para as medições, capturadas em três movimentos do complexo articular do ombro: flexão, abdução e rotação externa dos ombros. Os autores chegaram à conclusão que as medições executadas com o Kinect® tiveram uma qualidade muito próxima às feitas com o goniômetro e estes resultados indicaram que o Kinect® pode ser utilizado para medições de amplitude de movimento em pacientes com capsulite adesiva do ombro.

O projeto aqui apresentado diferencia-se das soluções acima citadas nos seguintes aspectos: (1) a solução proposta permite o registro das medidas de ADM de pacientes em processo de recuperação motora; (2) o operador (especialista em cinesiologia) pode selecionar simultaneamente diversas articulações de membros superiores e inferiores do corpo; (3) os movimentos dos pacientes são comparados com os exercícios previamente registrados por um terapeuta (especialista em cinesiologia); (4) não utiliza nenhum tipo de vestimenta ou equipamento posicionado no corpo do paciente, ou seja, o cálculo da ADM é realizado por técnicas de visão computacional; (5) armazena dados dos movimentos dos pacientes, como ADM, ângulo e velocidade das articulações, para futuras comparações; (6) faz as medições de ADM nos três eixos, plano coronal - divide o corpo em partes anterior e posterior -; plano sagital - divide o corpo em lados direito e esquerdo -; e plano transversal - divide o corpo na horizontal (permite movimentos de rotação), dividindo-o em superior e inferior (Portela, 2016).

3. Projeto: sistema de rastreamento corporal

Este projeto permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta, fundamentada em visão computacional, para rastrear as principais articulações do corpo humano e digitalizar os dados de ADM dos membros superiores e inferiores. As informações registradas suportam as sessões de terapia motora, decorrente de situações como: AVC, reumatismo, traumatismos, acidentes de trabalho, lesões esportivas e doenças congênitas ou hereditárias.

O projeto está no contexto de uma pesquisa interdisciplinar e interinstitucional, composta por cientistas da computação, especialistas em informática em saúde, terapeutas e agentes de saúde. O funcionamento da ferramenta ocorre inicialmente (1) com o terapeuta apto a configurar os dados referentes à sessão do paciente, ou seja, cria um receituário*; Em seguida (2), utilizando a interface específica, o paciente pode realizar a sessão. Nesta interface, o paciente executa os exercícios e, em tempo real, pode visualizar em uma barra de progressão o número de erros e acertos do exercício em execução; (3) durante a execução da sessão os dados são armazenados em arquivos texto e de vídeo; (4) após finalizada a sessão, o terapeuta terá à disposição os dados de ADM, com o registro dos movimentos das articulações e planos selecionados.

O terapeuta pode escolher os planos (sagital, coronal e/ou transversal) em que o exercício será desenvolvido, quais membros ou conjunto de membros serão utilizados no exercício, o nome do arquivo a ser registrado e o formato de gravação do vídeo RGB (*Red, Green e Blue*) ou *Depth* (profundidade). A solução oferece ao terapeuta a possibilidade de definir

parâmetros como o nome do paciente, a quantidade de vezes que o exercício deve ser realizado, o limiar de acertos, que poderá variar de uma sessão para outra, e quais as juntas ou conjunto de juntas que devem ser exibidas.

A Figura 2 apresenta a interface do terapeuta (especialista em cinesiologia). No lado esquerdo é apresentado o vídeo do terapeuta durante a gravação de um receituário; e no lado direito os parâmetros definidos para a sessão do paciente. O sistema permite ativar a medição de 16 articulações: cabeça; pescoço; espinha; ombros, cotovelos, pulsos, joelhos, tornozelos (direito e esquerdo) e quadril (central, direito e esquerdo).

As articulações foram divididas em quatro grupos: membros superiores, membros inferiores, torso e pescoço. O terapeuta poderá escolher todas as articulações destes grupos ou escolhê-las individualmente, de acordo com a especificidade de cada paciente. À medida que as articulações são selecionadas, estas serão apresentadas sobre a silhueta do usuário/paciente (*skeletal tracking*) e terão seus ângulos de movimento calculados pelo sistema.

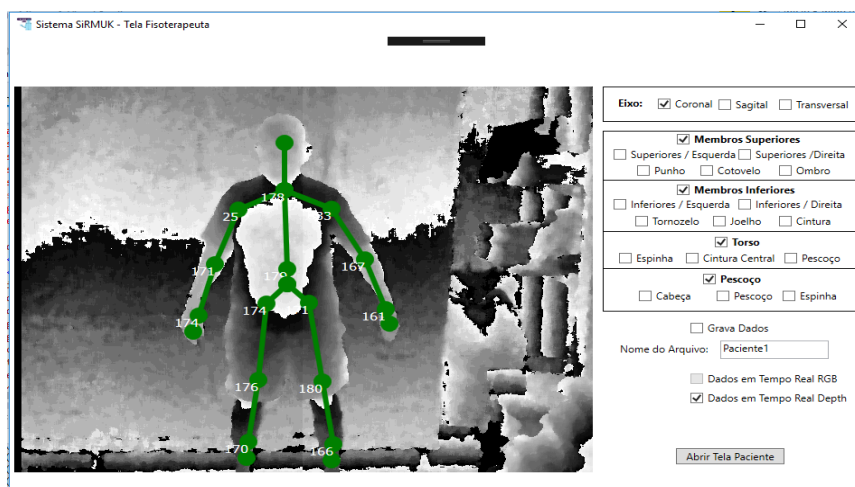


Figura 2 – Interface do Fisioterapeuta.

O sistema permite a escolha de alguns conjuntos de articulações, como todas as articulações dos membros superiores ou inferiores, apenas os membros superiores ou inferiores, somente do lado direito ou esquerdo, e individualmente as articulações de interesse de acordo com cada terapia. Trata-se de um sistema universal e personalizável ao mesmo tempo, respeitando a individualidade biológica, faixa etária e limitações funcionais de cada paciente.

Para que o esqueleto com as articulações apareça na interface do terapeuta e do paciente, é necessário escolher qual o tipo de esqueleto que ele quer exibir. A Figura 3 mostra os dois tipos de imagem do esqueleto suportado, o modo *RGB*, que exibe a imagem em cores e o modo *Depth*, que exibe um mapa de profundidade onde cada cor fica mais clara ou mais escura de acordo com a distância do objeto até o dispositivo. Os vídeos são gravados a uma taxa de 30 frames (quadros por segundo), no formato AVI.



Figura 3 – Apresentação das articulações selecionadas para o rastreamento do esqueleto no modo *Depth* (esquerda) e no modo *RGB* (Direita).

A partir do receituário gravado pelo terapeuta com os respectivos parâmetros, o paciente realiza sua sessão de exercícios utilizando a interface específica (Figura 4). Nesta interface são apresentados todos os dados, previamente definidos, e ela possibilita a visualização do vídeo do receituário.

Inicialmente, o paciente deve se posicionar em frente ao dispositivo, com distância entre 2,50 e 3,00 metros, de modo que o seu esqueleto seja apresentado no vídeo. Em seguida, ele pode iniciar as repetições, cuja progressão é ilustrada em barras, na interface. A barra denominada “Progressão” apresenta o quanto (em porcentagem %) o exercício em execução está próximo do esperado. A barra denominada “Acertos” apresenta quantos exercícios corretos foram executados em relação ao que foi definido.

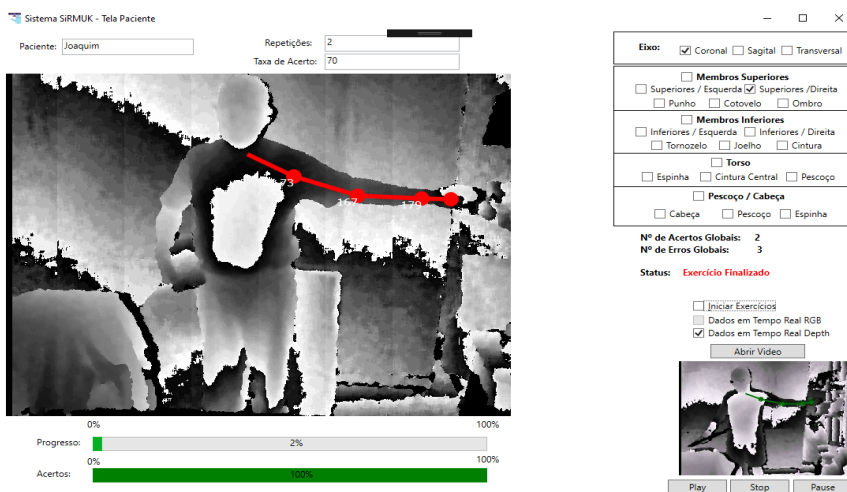


Figura 4 – Tela do paciente.

O limiar de progressão e a quantidade de acertos definidos pelo terapeuta poderão mudar de acordo com cada caso e paciente. Além disso, esses parâmetros podem ser

alterados conforme o paciente for evoluindo em seu tratamento. Por exemplo, um dado paciente não consegue executar totalmente a abdução do ombro, então o terapeuta, nas primeiras sessões, coloca um limiar de acerto baixo. Conforme o paciente for evoluindo, e a sua amplitude de movimento for melhorando, o limiar pode ser aumentado.

3.1. Registro das movimentações

Durante as movimentações, são armazenadas as posições X, Y e Z de cada articulação, o que possibilita então o cálculo dos ângulos. Por exemplo, para o cálculo do ângulo do cotovelo, utiliza-se a posição do cotovelo, do pulso (articulação distal) e do ombro (articulação proximal) do paciente.

A Tabela 1 apresenta um exemplo de dados coletados para o cálculo do ângulo do cotovelo. Após a coleta, cada eixo forma um vetor (vetor 1, vetor 2, vetor 3) – veja exemplo na Tabela 1. Cada um destes vetores contém a posição X, Y e Z de sua respectiva articulação. Então, cada elemento do vetor 1 é subtraído do elemento correspondente do vetor 2 e vetor 3, o que resulta nos vetores 4 e 5 respectivamente. Por fim, calcula-se o ângulo utilizando a seguinte fórmula 1:

$$\text{Angulo} = \text{ArcCos}(\text{Vetor 4} * \text{Vetor 5}) / \text{PI} * 180.$$

Fórmula 1 – Cálculo dos ângulos.

Eixo	Posição			Subtração		Ângulo
	Ombro (vetor 1)	Cotovelo (vetor 2)	Pulso (vetor 3)	Vetor 1 - Vetor 2 (vetor 4)	Vetor 1 - Vetor 3 (vetor 5)	
X	-0,00253	0,210951	0,462109	-0,21348	-0,25116	90,03°
Y	-0,01137	-0,01882	0,005319	0,00745	-0,02414	89,99°
Z	1,80589	1,797518	1,729618	0,00837	0,06790	0°

Tabela 1 – Exemplo de cálculo de ângulos.

3.2. Análise e visualização dos dados

Quando o paciente está realizando as sessões, os dados (vídeos e posições das articulações) são armazenados. O registro da posição de cada articulação é armazenado no plano onde o movimento foi realizado, juntamente com o momento do registro (horário local) e o ângulo calculado. Esses dados podem ser importados por planilhas eletrônicas, como o Excel ou LibreOffice Calc, para que o terapeuta realize análises e gere gráficos para acompanhamento e quantificação da terapia.

4. Testes do Sistema

Para a validação do sistema, foram feitos testes no plano coronal. Os dados de ADM dos planos sagital e transversal dependem da integração de mais de um dispositivo de reconhecimento de gestos e serão objeto de estudo em projetos futuros.

4.1. Testes no plano coronal

Para os testes no plano coronal, na “Tela Terapeuta”, foi criado um receituário com um movimento de abdução do ombro direito (Figura 5). A Figura 6 mostra o comportamento da ADM da articulação do ombro (durante o movimento de abdução) que vai de aproximadamente 20°, quando o braço está próximo ao corpo – posição anatômica, até a amplitude máxima de 180°, quando o braço está esticado e apontando para o alto e, em seguida, retorna à posição inicial. O movimento capturado pelo sistema está descrito na Tabela 2.

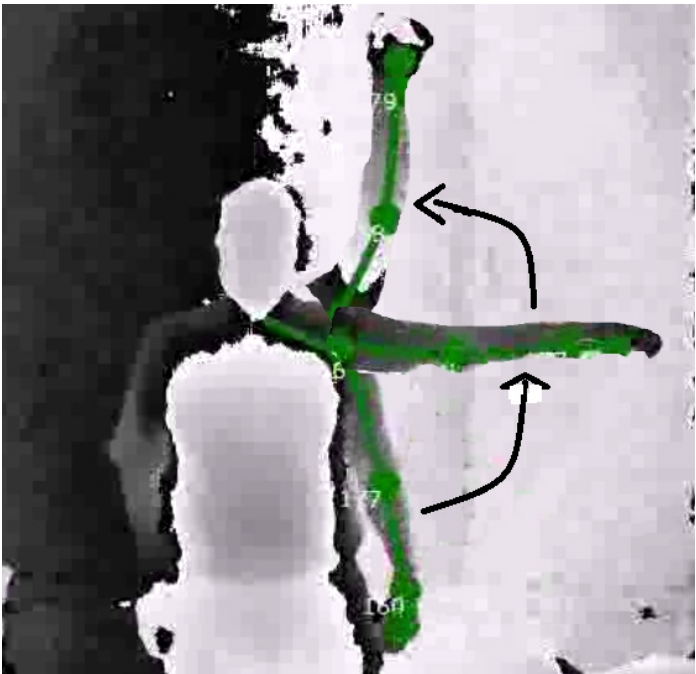


Figura 5 – Movimento de abdução do ombro direito - Plano coronal.

	Punho Direito	Cotovelo Direito	Ombro Direito
Angulação Máxima	179°	179°	180°
Angulação Mínima	148°	150°	20°
Amplitude do Movimento	31°	29°	160°

Tabela 2 – Dados do Receituário.

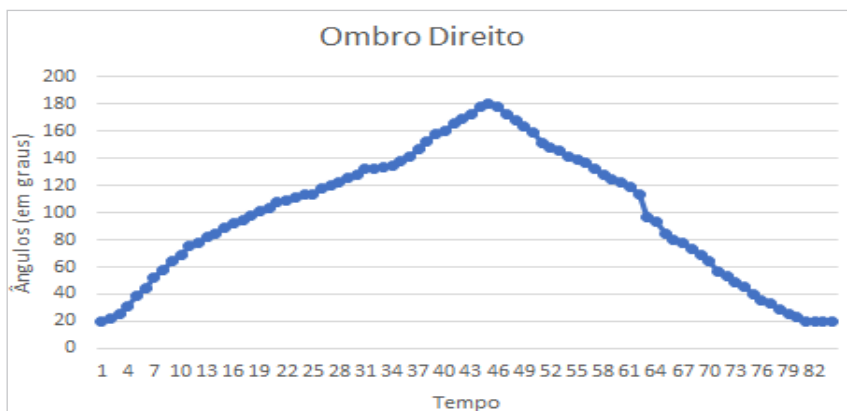


Figura 6 – Movimento de abdução do ombro direito no plano coronal; dados do receituário (a taxa de aquisição é de 30 Hz, ou seja, a cada 30 unidades na coordenada horizontal – abscissa ou eixo x – o tempo decorrido é de 1 segundo).

Com o receituário criado no plano coronal, um voluntário saudável realizou uma sessão de teste. Os resultados foram comparados com o receituário para verificar se a rotina de cálculo estava funcionando corretamente.

Na “tela paciente”, o sistema foi configurado para que o voluntário fizesse duas repetições corretas deste movimento com um limiar de acerto de 70%. A Tabela 3 mostra a execução desta sessão. Na primeira tentativa, o voluntário não atingiu o limiar definido, ocasionando erro. O mesmo ocorreu na segunda e na terceira tentativa; possivelmente nestas três primeiras tentativas, o paciente estava se ambientando com o sistema e com os movimentos. Nas duas últimas tentativas, quando o voluntário já havia se ambientado com o sistema, ele conseguiu repetir os movimentos bem próximos do receituário, conseguindo completar o exercício. Então o voluntário executou no total 6 (seis) movimentos, 4 (quatro) movimentos incorretos e 2 (dois) movimentos corretos, conforme a Tabela 3 e a Figura 7.

Tentativa	Sessão 1	
	Limiar	
1	66,26%	Erro
2	51,80%	Erro
3	66,26%	Erro
4	42,16%	Erro
5	84,33%	Acerto
6	99,90%	Acerto

Tabela 3 – Dados das seis tentativas do paciente.

5. Conclusão

A expectativa de vida das pessoas é cada vez maior e, conseqüentemente, a quantidade de pessoas com restrições motoras também tende a aumentar devido a acidentes, desenvolvimento de patologias e ao processo natural de senescência ou sarcopenia. Para auxiliar a reabilitação motora de pacientes foi proposta uma solução que envolve o rastreamento dos membros superiores e inferiores de pacientes utilizando equipamentos de baixo custo (Kinect® - aproximadamente U\$100,00).

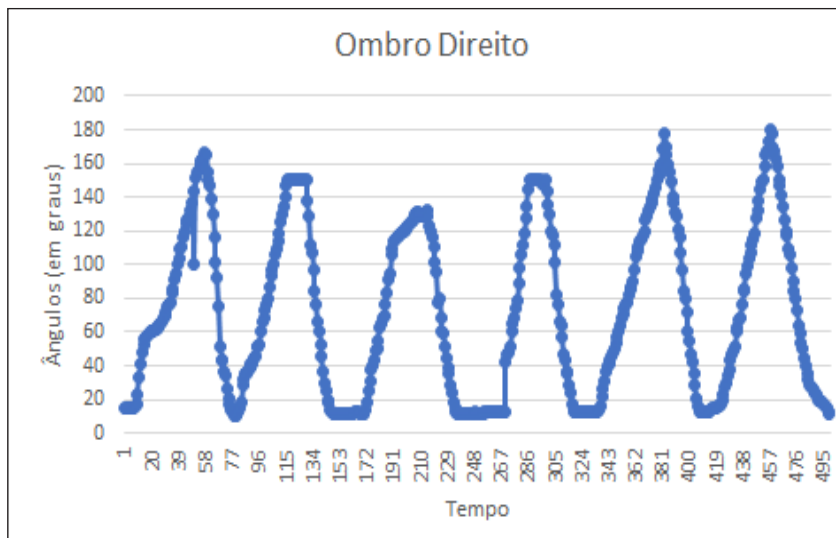


Figura 7 – Movimento de abdução do ombro direito no plano coronal, dados do “paciente” (a taxa de aquisição é de 30 Hz, ou seja, a cada 30 unidades na coordenada horizontal – abscissa ou eixo x – o tempo decorrido é de 1 segundo).

Assim, o terapeuta cria um receituário para o paciente, de acordo com a especificidade da lesão ou do protocolo de reabilitação, onde os movimentos (repetições) do paciente são confrontados com o receituário em tempo real, oferecendo feedback visual ao paciente durante a execução da terapia e registrando os dados de ADM no sistema para posterior análise da evolução do tratamento pelo terapeuta.

As rotinas de captura das posições das articulações pelo Kinect®, a conversão dessas coordenadas X, Y e Z (de cada articulação capturada) e o cálculo dos ângulos são a principal contribuição deste manuscrito. Esta solução se apresenta como uma alternativa acessível, motivadora e viável para ser utilizada em pequenas clínicas de reabilitação e sistemas públicos de saúde, onde não há laboratórios de biomecânica (marcha) à disposição. Adicionalmente, o uso deste sistema em terapias a distância (telerreabilitação) é possível, mas para ativar esta funcionalidade deve-se atentar à legislação vigente em cada país.

As limitações da pesquisa estão relacionadas às imprecisões dos dados nos planos sagital e transversal, sendo necessário aumentar os testes com voluntários saudáveis e posteriormente executar os testes clínicos em pacientes em colaboração com clínicas e centros de reabilitação. Tal circunstância orientará a continuação das investigações, tanto para a implementação de novas funcionalidades na solução quanto para a realização de um estudo randomizado e multicêntrico.

Referências

- Brandão, A., Dias, D.R., Castellano, G., Parizotto N., Trevelin L.C. (2016). RehabGesture: An Alternative Tool for Measuring Human Movement. *Telemedicine and e-Health*. Mary Ann Liebert, Inc. Vol 22. No. 7. doi: 10.1089/tml.2015.0139
- Çubukçu, B., Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint, Muscle and Tendon Damage. 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks. doi: 10.1109/CICN.2017.49
- Cunha Neto, J. S., Rebouças Filho, P. P., Silva, G. P. F., Olegario, N. B. C., Duarte, J. B. F., Albuquerque, V. H. C. (2018). Dynamic Evaluation and Treatment of the Movement Amplitude Using Kinect Sensor. *IEEE Access*. Special Section on Wearable and Implantable Devices and Systems. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2811720.
- Eliasziw M, Young SL, Woodbury MG, Fryday-Field K. (1994) Statistical methodology for the concurrent assessment of interrater and intrarater reliability: using goniometric measurements as an example. *Phys Ther* 1994;74:777-88.
- Esfahlani, S. S., Thompson, T., Parsa, A. D., Brown, I., Cirstea, S. (2018). ReHabgame: A non-immersive virtual reality rehabilitation system with applications in neuroscience. *Heliyon* 4. doi: 10.1016/heliyon.2018.e00526
- Fernández-Baena, A., Susin, A. and Lligadas, X. “Biomechanical validation of upper-body and lower-body joint movements of kinect motion capture data for rehabilitation treatments.” 2012 Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems. *IEEE*, 2012.
- Funabashi, A. M. M. et al. (2018). A serious game for virtual rehabilitation: evaluation whit patients and physiotherapists. *SBC Journal on Interactive Systems*. Vol. 9. No. 2.
- Gauthier, Stevens, and Ana-Maria Cretu. “Human movement quantification using Kinect for in-home physical exercise monitoring.” 2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA). *IEEE*, 2014.
- Kan Patrícia et al. The development of an adaptive upper-limbstroke rehabilitation robotic system. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2011.
- Lee SH, Yoon C, Chung SG, Kim HC, Kwak Y, Park H-w, et al. (2015). Measurement of Shoulder Range of Motion in Patients with Adhesive Capsulitis Using a Kinect. *PLoS ONE*. Hungria. doi: 10.1371/journal.pone.0129398

- Phommahavong, S. et al. (2015). Evaluating the microsoft Kinect skeleton joint tracking as a tool for home-based physiotherapy. *Current Directions in Biomedical Engeneering*. No. 1. Issue 1 (set, 2015). pp. 184-187. Alemanha.
- Sror, Lili et al. (2018). Low-cost reality system with passive arm support for stroke rehabilitation. In: *Robots for Assisted Living – IROS'2018*. Madrid.

Sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan inteligencia artificial en la agricultura de precisión: un mapeo sistemático de literatura

José A. Brenes¹, Alexandra Martínez¹, Christian Quesada-López¹, Marcelo Jenkins¹

joseantonio.brenes@ucr.ac.cr, alexandra.martinez@ucr.ac.cr, cristian.quesadalopez@ucr.ac.cr, marcelo.jenkins@ucr.ac.cr

¹ Universidad de Costa Rica, Escuela de Ciencias de la Computación e Informática, San José, Costa Rica.

Pages: 217–229

Resumen: Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la agricultura permiten optimizar los procesos de cultivo, al utilizar la menor cantidad de recursos (tierra, agua y fertilizantes). En esta investigación, se caracterizaron los sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan técnicas de inteligencia artificial (IA) en procesos de agricultura de precisión. Para ello, se realizó un mapeo sistemático de literatura donde se identificaron 39 estudios primarios. Los estudios se analizaron con respecto a las técnicas de IA utilizadas, las variables de entrada, salidas, tipo de procesamiento realizado, y evaluación de las soluciones reportadas. En total se identificaron 12 técnicas de IA y 73 variables de entrada, siendo las variables de clima las más usadas. Adicionalmente, se evidenció que el 57% de los estudios analizados (18) reportan automatización de los procesos mediante el uso de actuadores, mientras que solo el 17% (6) brindan recomendaciones a los agricultores.

Palabras-clave: sistemas de apoyo a la toma de decisiones; inteligencia artificial; agricultura de precisión; invernaderos.

Decision support systems that use artificial intelligence for precision agriculture: a systematic literature mapping

Abstract: Decision support systems for agriculture allow to optimize crop processes by using the least amount of resources (land, water and fertilizers). In this study, we characterized decision support systems that use artificial intelligence (AI) techniques for precision agriculture processes. To this aim, a systematic literature mapping was carried out where 39 primary studies were identified. Studies were analyzed based on the AI techniques used, the reported input variables, outputs, type of processing, and solution evaluation. A total of 12 artificial intelligence techniques and 73 input variables were identified, with climate variables being the most used. In addition, it was evidenced that 57% of the solutions (18) automate the process through the use of actuators, while only 17% (6) offer recommendations to farmers.

Keywords: decision support systems; artificial intelligence; precision agriculture; greenhouses.

1. Introducción

El crecimiento poblacional y los problemas asociados al cambio climático, tales como la reducción de la tierra cultivable y el difícil acceso a recurso hídrico, han generado gran preocupación en la población mundial en los últimos años. Estudios recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) han arrojado proyecciones alarmantes: la población mundial alcanzará los 10 mil millones de habitantes para el año 2050 y esto representará una demanda adicional de más del 50% de los alimentos que se consumen hoy en día. Ante esta situación, el sector productivo y la industria han estado trabajando en mejorar los sistemas de producción, de manera que se pueda incrementar la producción optimizando los procesos productivos. En el campo de la agricultura, desde hace varias décadas se ha estado trabajando en la agricultura de precisión, método que busca producir más alimentos con menos recursos agua y fertilizantes (van Evert, Gaitán-Cremaschi, Fountas y Kempenaar, 2017).

Resulta estratégico entonces que el sector tecnológico apoye al sector productivo en la creación de herramientas que permitan a los agricultores alcanzar altos rendimientos para poder así lidiar con los problemas proyectados a futuro. Una forma de lograr esto es a través de la implementación de técnicas de inteligencia artificial (IA) en los procesos de toma de decisiones. Al respecto, en la literatura podemos encontrar esfuerzos reportados en esta área (Madushanki, Halgamuge, Surangi y Syed, 2019), muchos de los cuales hacen uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN), para obtener datos relevantes sobre los cultivos.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar los sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan técnicas de inteligencia artificial en procesos de agricultura inteligente, específicamente en el contexto de agricultura de precisión bajo invernadero. Para ello, se realizó un mapeo sistemático de literatura que identificó un total de 39 estudios primarios. Los estudios se analizaron con respecto a las técnicas de IA utilizadas en los sistemas, así como las variables de entrada, salidas, tipo de procesamiento realizado, y evaluación empleadas.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describen los trabajos relacionados. En la sección 3 se definen los conceptos más relevantes del área de estudio. En la sección 4 se explica la metodología usada para realizar el mapeo sistemático. En la sección 5 se muestran los resultados, en la sección 6 se discuten dichos resultados, y en la sección 7 se presentan las conclusiones.

2. Marco teórico

La *agricultura de precisión* puede ser definida como una estrategia amigable con el ambiente, que permite variar las entradas o insumos utilizados en la producción para aprovechar las condiciones del medio en el que se cultiva y optimizar el desarrollo de los cultivos (Srinivasan, 2006). Gemtos, Fountas y Aggelopoulou (2011) y Dholu y Ghodinde (2018) indican que en la agricultura de precisión se nutre a los cultivos con la cantidad de recursos óptima requerida en el momento preciso y con una duración exacta, de acuerdo con los requerimientos de la fase de cultivo actual.

La *fase de cultivo* se refiere a la etapa de crecimiento de un cultivo y representa un factor importante al segmentar y analizar el crecimiento, y las condiciones del cultivo (Di et al., 2015). Li y Chen (2011) consideran que la fase de cultivo es un factor crítico en la estimación y predicción del rendimiento, por lo que se debe censar en todo momento. Para realizar un censado correcto y preciso de las variables que afectan el crecimiento de un cultivo, resulta útil considerar los conocimientos del área de la *agrometeorología*. Esta se encarga de censar y buscar relaciones entre las distintas variables físicas que intervienen en los procesos agronómicos, con el fin de acelerar la producción y evitar el abuso irreversible de recursos (MacKerron, 2005).

En agricultura, los *invernaderos* juegan un papel importante, pues son ambientes de producción que permiten controlar las condiciones para el crecimiento de los cultivos (Durmus, Günes y Kirci, 2016). Dan, Jianmei, Yang y Jianqiu (2016) y Heidari y Khodadadi (2017) describen los invernaderos como espacios designados para recrear un ambiente en el cual la temperatura, la humedad y la iluminación son monitoreados y ajustados para optimizar las condiciones de crecimiento de los cultivos. La medición y el control de datos asociados a los cultivos bajo invernadero se considera una tarea de la *agrometeorología*, a través del uso de las WSN (Liu, Jin, Shen, Fu y Linge, 2016). Las WSN consisten en dispositivos de censado de variables físicas que se pueden desplegar de manera distribuida en ubicaciones remotas (Narmada y Rao, 2012).

Contar con sistemas de apoyo a la toma de decisiones que monitoreen y controlen las variables físicas que afectan el rendimiento de los cultivos, puede ayudar a los agricultores a incrementar la producción y reducir los recursos requeridos (Rathinam, Surendran, Shilpa, Santhiya y Sherin, 2019). El uso de técnicas de inteligencia artificial en el modelado de variables físicas se ha incrementado en los últimos años, permitiendo resolver problemas más complejos (Chen, Jakeman y Norton, 2008). Uno de estos problemas es precisamente la optimización de las decisiones que se toman en los procesos de cultivo en la agricultura de precisión.

3. Trabajo relacionado

En los últimos años, se han dado grandes avances en el uso de las TIC (incluyendo el Internet de las Cosas) para el monitoreo y control de los parámetros que afectan los cultivos. Al respecto, Madushanki, Halgamuge, Surangi y Syed (2019) realizaron un análisis de las soluciones propuestas en la literatura para el monitoreo y el control de variables físicas. En dicho estudio, se lograron detectar alrededor de 28 variables físicas que fueron censadas mediante el uso de las WSN. Entre las principales variables físicas medidas se encuentran la temperatura del aire, la humedad del ambiente o humedad relativa, la humedad y la acidez del suelo o pH.

Otros investigadores se han enfocado en desarrollar sistemas de apoyo a la toma de decisiones que ayuden a reducir el impacto de los procesos de agricultura en el deterioro del ambiente. Ejemplo de lo anterior es el estudio presentado por Ahmed et al. (2013), en el cual los autores realizan un análisis de este tipo de sistemas y concluyen además que a través del censado constante y la agricultura de precisión, es posible reducir la contaminación por fertilizantes y los gases de efecto invernadero, siendo el último el que más afecta al cambio climático.

En la literatura existe un gran número de estudios primarios enfocados en monitorear y controlar las técnicas de agricultura existentes con el objetivo de aumentar la producción, reduciendo el consumo de recursos o contribuyendo a disminuir el deterioro del medio ambiente. Sin embargo, no encontramos estudios secundarios que realizaran un análisis de las soluciones propuestas en agricultura que utilicen técnicas de inteligencia artificial para mejorar el proceso de toma de decisiones. Por ello, nuestra revisión de literatura presenta un análisis de dichas soluciones, con el objetivo de caracterizarlas y conocer cómo se han evaluado. Esto podría ayudar a otros investigadores en el área a identificar oportunidades de mejora en la optimización de los procesos de cultivo mediante una toma de decisiones más inteligente, tomando en cuenta el conocimiento que se obtiene de los datos censados de los cultivos.

4. Metodología

Para llevar a cabo este mapeo sistemático de literatura se siguieron los lineamientos de la metodología propuesta por Petersen, Vakkalanka y Kuzniarz (2015). A continuación, se describe el proceso realizado.

El objetivo de este estudio, formulado con el modelo GQM (Basili, Caldiera, y Rombach, 1994), fue *analizar* sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan técnicas de inteligencia artificial *con el propósito de* caracterizarlos *con respecto a* sus entradas, salidas, tipo de procesamiento y evaluación, *desde el punto de vista del investigador en el contexto de* procesos de agricultura de precisión bajo invernadero. Para esto definimos las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1. ¿Cuáles técnicas de inteligencia artificial se han utilizado en sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la agricultura de precisión bajo ambientes protegidos?
- RQ2. ¿Cómo se caracterizan los sistemas de apoyo a la toma de decisiones que utilizan técnicas de inteligencia artificial en el contexto de la agricultura de precisión bajo ambientes protegidos?
- RQ3. ¿Cómo se han evaluado los sistemas de apoyo a la toma de decisiones que utilizan técnicas de inteligencia artificial en el contexto de la agricultura de precisión bajo ambientes protegidos?

4.2. Estrategia de búsqueda y proceso de selección de los estudios primarios

Inicialmente se realizó una búsqueda exploratoria en bases de datos de texto completo para identificar estudios relevantes en la temática de análisis, los cuales fueron usados como artículos de control (Burchi et al., 2018) (Nawandar & Satpute, 2019) (Park, Na & Cho, 2019). Dicha búsqueda se basó en el objetivo, las preguntas de investigación, y en términos utilizados en estudios secundarios relacionados. Con los datos recopilados, definimos la siguiente cadena de búsqueda para ejecutar en las bases de datos de texto completo:

(“decision support” OR “decision making” OR “decision-making”) AND
 (“greenhouse”) AND (“agriculture” OR “agricultural process”)

Las búsquedas automatizadas se realizaron en las bases de datos *Scopus* (áreas de agricultura, computación e ingeniería), *IEEE Xplore*, *Science Direct*, *ACM Digital Library*, *Springer Link* y *Web of Science*. El protocolo del mapeo se desarrolló durante el primer semestre del año 2019. Por su parte, la búsqueda automatizada se ejecutó en el mes de junio del 2019, y los estudios se analizaron entre junio y setiembre del 2019.

Se obtuvo un conjunto de 405 estudios primarios de la búsqueda automatizada. Sobre estos estudios se aplicaron 3 criterios de inclusión y 3 criterios de exclusión (Tabla 1), con el objetivo de seleccionar solo aquellos estudios que estuviesen relacionados directamente con el área de estudio y las preguntas de investigación. El proceso de inclusión y exclusión se hizo con base en el título, resumen y palabras claves de los artículos (en caso de duda, se realizó lectura completa). Se excluyeron publicaciones que cumplieran con la fórmula ($E1 \text{ OR } E2 \text{ OR } E3$) y se incluyeron los estudios no excluidos que cumplieran además con la fórmula ($I1 \text{ AND } I2 \text{ AND } I3$).

A partir de la estrategia de búsqueda y el proceso de selección realizados, se obtuvo un total de 39 artículos, tal como se muestra en la Figura 1.

Criterio de inclusión	Criterio de exclusión
I1. Estudios que reporten técnicas de inteligencia artificial.	E1. Estudios que no hayan sido escritos en idioma inglés.
I2. Estudios que reporten como objetivo mejorar los procesos de agricultura.	E2. Estudios que no estén disponibles en texto completo.
I3. Estudios que reporten sistemas de apoyo a la toma de decisiones.	E3. Estudios secundarios y terciarios.

Tabla 1 – Criterios de inclusión y exclusión

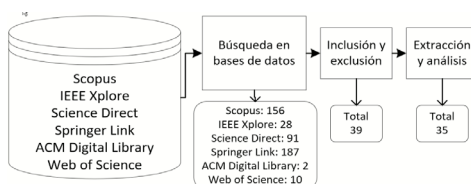


Figura 1 – Proceso de búsqueda y selección de estudios.

4.4. Criterios de calidad

Para evaluar la calidad de los estudios seleccionados, se definieron cuatro criterios sobre aspectos de interés para el análisis: (Q1) ¿El estudio detalla con claridad las técnicas de inteligencia artificial utilizadas? (Q2) ¿El estudio identifica las variables de entrada utilizadas en el proceso de análisis, así como las salidas generadas? (Q3) ¿El estudio sigue o define una metodología de evaluación rigurosa? (Q4) ¿El estudio explicita el estado de implementación de la solución e identifica trabajo futuro? El puntaje de cada criterio de calidad se asignó en una escala de 0 a 1, donde 0=No cumple el criterio en lo absoluto, 0,5=Cumple con el criterio parcialmente, 1=Cumple con el criterio totalmente.

La calificación final de calidad de cada estudio se obtuvo sumando el puntaje asignado a cada criterio Q1 a Q4. Estas calificaciones de calidad variaron entre 0 y 4 para los estudios analizados. Se excluyeron cuatro estudios cuya calidad fue menor a 2. De esta manera, la calidad de los estudios resultantes varió entre 2 y 4 con una media de 2,96 y una mediana de 3, lo cual indica que los estudios analizados ofrecen un nivel de detalle aceptable de acuerdo a los criterios de calidad definidos. Después del proceso de evaluación de calidad, quedaron incluidos 35 estudios para la extracción y el análisis.

4.5.Extracción de datos y análisis de resultados

Para cada estudio seleccionado, se extrajeron 102 datos relevantes. Los elementos del formulario de extracción asociados a cada pregunta de investigación se muestran en la Tabla 2. La extracción de los datos fue ejecutada por el primer autor del estudio. Para el análisis y síntesis de la información, se tabularon los datos extraídos en MS Excel, se elaboraron tablas de frecuencias y se usó un análisis narrativo para exponer los principales hallazgos y la evidencia extraída.

Categoría	Elementos de datos extraídos
Información general	Identificador, Código de referencia, Referencia, Año, Título, Autores, Palabras claves, DOI, URL, Tipo de documento, Tipo de estudio, Base(s) de datos donde fue encontrado.
Técnicas de inteligencia artificial utilizadas (RQ1)	Redes neuronales artificiales, Sistemas de lógica difusa, Aprendizaje de máquina, Big Data, Sistemas inferenciales, Simulación, Minería de datos, Análisis predictivo, Algoritmos genéticos, Otros.
Variables de entrada (RQ2)	Variables de clima, variables de planta, variables de suelo, otras variables.
Salidas (RQ2)	Visualización de datos (datos planos o indicadores), Instrucciones a actuadores, Recomendaciones al agricultor, Otro tipo de salida.
Tipo de procesa-miento (RQ2)	En tiempo real, En sitio (<i>on premisse</i>), Remoto (<i>cloud</i>), Otro tipo de procesamiento.
Almacenamiento de información (RQ2)	Temporal, En Archivos, Remoto, Utilizando bases de datos: relacionales tradicionales, no-SQL, de series de tiempo, Otro tipo de almacenamiento, No específica tipo de almacenamiento.
Evaluación (RQ3)	Tipo de evaluación, Tipo de cultivo de prueba, Nivel de implementación.

Tabla 2 – Resumen de los datos extraídos por estudio.

La lista completa de los estudios seleccionados y el formulario de extracción completo con los resultados del proceso de extracción (incluyendo los puntajes de calidad), están disponibles en el siguiente enlace: <https://tinyurl.com/yyh45sug>. Los identificadores que en adelante se utilizarán para referenciar los estudios, se encuentran detallados en el formulario de extracción disponible en el enlace anterior.

4.6.Amenazas a la validez

Para la identificación de estudios primarios, la cadena de búsqueda fue definida a partir de un conjunto de estudios de control y piloteada en varias pruebas con el objetivo de reducir el ruido. Por su parte, la selección de las bases de datos se basó en

el reconocimiento con que cuentan estas por la gran cobertura de estudios publicados en áreas como la Computación e Informática, Ingeniería y Agronomía. Ante dudas relacionadas con la inclusión de un estudio, se realizó la lectura completa del mismo.

El error en la extracción de información de los estudios por parte del investigador que lo ejecuta se minimizó al incorporar en el equipo de análisis a varios investigadores los cuales colaboraron con la validación y verificación del proceso de análisis realizado. Para la extracción de información se diseñó un formulario que guía el proceso y que puede ser revisado. La aplicación de los criterios de calidad fue ejecutada por un solo investigador basándose en criterio experto y en lo reportado por los autores. Por su parte, el análisis final y la generación de resultados se realizaron con base en los estudios resultantes del mapeo solamente.

5. Resultados

En esta sección presentamos los resultados del mapeo de los 35 estudios primarios analizados, respondiendo a las preguntas de investigación planteadas. Los estudios analizados presentaron soluciones de sistemas de apoyo a la toma de decisiones con diferentes niveles de desarrollo. El 9% de los estudios (3 de 35) presentó propuestas de soluciones, mientras que el 14% (5 de 35) reportó además los diseños. El 77% de las soluciones encontradas (27 de 35) llegaron a un nivel de implementación, siendo algunas de estas evaluadas mediante cultivos, como se detalla más adelante.

5.1. Técnicas de inteligencia artificial utilizadas

La identificación de técnicas de inteligencia artificial en los estudios se realizó basado en Chen, Jakeman y Norton (2008) y Kumbhar (2014). Además, se realizó una clasificación de tales técnicas de acuerdo con el mapa propuesto por Corea (2018). Así, en total identificamos 12 técnicas de inteligencia artificial reportadas (Tabla 3) las cuales fueron clasificadas por paradigma (Tabla 4). Es importante notar que algunos de los estudios reportan combinaciones de técnicas por ejemplo mediante la combinación de lógica difusa con redes neuronales (S230, S270) o aprendizaje de máquina (S276).

Categoría de la técnica de Inteligencia Artificial	Estudios que la reportan	Conteo
<i>Machine learning</i>	S2, S12, S29, S35, S42, S54, S78, S94, S97, S104, S125, S131, S154, S159, S165, S230, S235, S270, S276	19
<i>Logic based</i>	S51, S58, S60, S97, S141, S152, S229, S230, S235, S254, S258, S270, S276, S291	14
<i>Embodied intelligence</i>	S42, S90, S119, S159, S164, S241	6
<i>Search and optimization</i>	S6, S12, S83, S147	4
<i>Knowledge based</i>	S51, S78, S141	3
<i>Probabilistic methods</i>	S94, S343	2
<i>Not clasified</i>	S34, S142, S202	3

Tabla 3 – Técnicas de inteligencia artificial utilizadas.

Las técnicas de inteligencia artificial más reportadas son los sistemas de análisis predictivo y lógica difusa. Esto tiene sentido pues la lógica difusa permite combinar variables de entrada, para producir uno o varios valores de salida, justo lo que se busca en la agricultura de precisión; y en el segundo caso, debido a que los sistemas de apoyo a la toma de decisiones en agricultura de precisión buscan predecir el comportamiento del crecimiento de las plantas o de las condiciones de los invernaderos, para tomar medidas de control y optimizar el crecimiento y la producción.

5.2. Caracterización de los sistemas que utilizan técnicas de IA

Se identificaron en total 73 variables de entrada, las cuales se clasificaron en cuatro grandes grupos, a saber: variables de clima, variables de planta, variables de suelo y otras. En la Tabla 4 se muestran los estudios que reportan el uso de las variables de entrada que presentan mayor frecuencia de uso. Es posible notar un gran número de estudios que reportan variables de clima, datos que son posibles de obtener de una manera más sencilla en comparación con otro tipo de variables como la temperatura de las hojas de las plantas.

Tipo	Variable	Estudios que la reportan	Conteo
Clima	Temperatura	S2, S6, S12, S29, S34, S35, S42, S54, S58, S60, S78, S83, S90, S94, S97, S119, S125, S147, S152, S154, S159, S164, S165, S202, S254, S258, S270, S276, S291, S343	30
Clima	Humedad relativa	S2, S12, S29, S34, S35, S42, S54, S58, S60, S78, S83, S94, S97, S119, S125, S147, S154, S159, S202, S254, S258, S270, S276, S291	24
Clima	Radiación neta	S2, S29, S42, S54, S58, S78, S83, S94, S147, S152, S159, S202, S235, S241, S343	15
Clima	Intensidad de la luz	S12, S29, S35, S60, S78, S90, S125, S202, S270, S276, S291	11
Clima	Concentración de CO2	S6, S58, S78, S83, S119, S125, S154, S235, S270, S276, S343	11
Suelo	Humedad del sustrato	S2, S94, S97, S104, S164, S165, S229, S235, S254, S258, S343	11
Suelo	Temperatura	S29, S35, S51, S83, S119, S165, S202, S235, S291, S343	10
Suelo	Conductividad eléctrica	S51, S78, S83, S147, S159, S235	6
Suelo	Acidez (pH)	S51, S78, S83, S147, S159, S235	6
Planta	Crecimiento del cultivo	S2, S12, S159, S202, S343	5
Planta	Temperatura de la hoja	S29, S34, S83, S97	4

Tabla 4 – Variables de entrada más reportadas.

En la Tabla 5, se detallan las salidas reportadas, siendo el uso de actuadores y la visualización de datos las reportadas con mayor frecuencia. El primer caso debido a

la automatización de los procesos que se busca en la agricultura de precisión y en el segundo caso debido al fácil acceso a plataformas de visualización de datos en línea y al uso de dispositivos móviles hoy en día.

Tipo de salida	Estudios que la reportan	Conteo
Visualización de datos	S2, S35, S42, S54, S60, S78, S83, S90, S97, S119, S142, S147, S152, S154, S159, S165, S229, S235, S276	19
Instrucciones a actuadores	S2, S6, S29, S35, S58, S60, S83, S97, S104, S125, S159, S229, S230, S235, S254, S270, S276, S291	18
Recomendaciones al agricultor	S6, S12, S34, S51, S54, S147	6
Otro tipo de salida	S58, S131, S343	3
No definida	S141, S164, S202, S241, S258	5

Tabla 5 – Salidas reportadas.

5.3. Evaluación de los sistemas que utilizan técnicas de IA

Se evidencia que muchos de los sistemas y soluciones reportadas no han sido evaluados de manera rigurosa. Cuando sí se reporta una metodología de evaluación, esta se llevó a cabo mediante la evaluación de los cultivos (13 estudios) o por medio de evaluación en laboratorio con pruebas controladas (9 estudios). En la Tabla 6 se detallan las técnicas de evaluación reportadas por los estudios.

Tipo de evaluación	Estudios que la reportan	Conteo
Evaluación con cultivo	S2, S6, S12, S35, S51, S54, S58, S94, S97, S104, S254, S291, S343	13
Evaluación en laboratorio	S29, S51, S60, S83, S90, S104, S142, S152, S154	9
Evaluación de precisión	S12, S78, S125, S154, S165, S230	6
Evaluación de expertos	S51, S159, S276	3
Evaluación de rendimiento	S2, S60, S343	3
Otro tipo de evaluación	S42, S141	2
No definida	S34, S119, S131, S147, S164, S202, S229, S235, S241, S258, S270	11

Tabla 6 – Tipo de evaluación reportada.

Además, en los casos en los que se reportó la evaluación mediante un cultivo, se identificaron los cultivos específicos utilizados, siendo las hortalizas las más reportadas: hortalizas (S2, S6, S12, S29, S34, S35, S51, S54, S58, S83, S90, S104, S141, S159, S165, S202, S229, S276, S343), frutas (S78, S90, S97, S164, S254), hidropónicos (S78, S147, S154), flores (S42, S291), otros (S94, S152), ornamental (S159). Lo anterior se puede deber a que la mayor parte de los cultivos que se producen bajo invernadero son los vegetales.

6. Discusión

La mejora de procesos de cultivos mediante la implementación de tecnologías emergentes es un campo de estudio activo. En el mapeo de literatura realizado se puede evidenciar como los parámetros de entrada relacionados con variables físicas de clima están siendo ampliamente utilizados por los sistemas de apoyo a la toma de decisiones mientras que los parámetros de suelo son utilizados en menor medida, esto puede deberse a la facilidad de acceso a hardware de medición, a los costos de dicho hardware o inclusive a que en muchas ocasiones un sensor permite realizar la medición de varias variables físicas de clima a la vez.

En cuanto a los parámetros de entrada relacionados con variables de las plantas, es evidente el escaso monitoreo reportado por los autores, quienes indican que es difícil construir o acceder a hardware para medir este tipo de variables. Por otro lado, en la mayoría de los casos las soluciones reportadas recurren a la visualización de datos solamente, mientras que en segundo lugar se hace uso de actuadores para controlar variables específicas censadas en los invernaderos, automatizando de esta manera el proceso de cultivo. Es importante destacar que son pocos los autores que muestran recomendaciones o alertas a los agricultores (6 de 35) para que estos realicen alguna intervención en los procesos de cultivo. Lo anterior resulta de gran importancia a analizar desde una perspectiva social pues la adopción de la tecnología por parte de las personas en muchas ocasiones se ve violentada por el temor al reemplazo.

Por su parte, resulta interesante la manera en la que están siendo evaluados los sistemas, sobre todo por la variabilidad de los cultivos que se utilizan cuando la evaluación se realiza de esta manera. Para las evaluaciones realizadas en laboratorio, se esperaría que en algún momento las soluciones puedan ser probadas con los cultivos para validar su precisión y correctitud. En cuanto a las mejoras obtenidas por el uso de técnicas de IA, los autores reportan, entre otros beneficios, que es posible optimizar el rendimiento de los cultivos, realizar un manejo adecuado de pestes y enfermedades, reducir la cantidad de recursos requeridos para la producción agrícola, optimizar las dosis de nutrientes, entre otros aspectos.

7. Conclusiones

En este documento se reportan los resultados obtenidos del mapeo sistemático de literatura realizado para analizar los sistemas de apoyo a la toma de decisiones que usan técnicas de inteligencia artificial en procesos de agricultura de precisión bajo invernadero. La cantidad de estudios primarios analizados luego de aplicar el proceso de búsqueda expuesto fue de 39 estudios.

En particular, se identificaron las técnicas de inteligencia artificial utilizadas en los sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Adicionalmente, se caracterizaron estos sistemas mediante el análisis de sus variables de entrada, las salidas generadas, tipo de procesamiento realizado, y evaluación reportada.

Entre los principales resultados están que las variables de entrada más utilizadas son las de clima y en menor medida, las variables de la planta. Asimismo, se encontró que las

salidas más comunes en estos sistemas son indicaciones a actuadores o visualización de resultados, siendo pocos los estudios que brindan recomendaciones al agricultor.

Como trabajo futuro se recomienda explorar las técnicas reportadas por los autores para medir variables físicas de plantas e identificar la utilidad de tales variables en la obtención de resultados. Asimismo, se podría analizar de manera comparativa técnicas de aprendizaje de máquina para identificar aquella que mayor aporta mayor beneficio en la mejora del proceso de toma de decisiones y optimización de la producción agrícola.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Escuela de Ciencias de la Computación e Informática (ECCI), y el Centro de Investigaciones en Tecnología de la Información y la Comunicación (CITIC) en el marco de los proyectos 736-B8-016 y 834-B9-189.

Referencias

- Ahmed, Mukhtar; Asif, Muhammad; Sajad, Muhammad; Khattak, Jabar Zaman Khan; Ijaz, Waqas; Wasaya, Allah and Chun, Jong Ahn. Could agricultural system be adapted to climate change?: A review [online]. Australian Journal of Crop Science, Vol. 7, No. 11, Oct 2013: 1642-1653.
- Basili, V. R., Caldiera, G. & Rombach, D. H. (1994). The Goal Question Metric Approach. En Encyclopedia of Software Engineering.
- Burchi, G., Chessa, S., Gambineri, F., Kocian, A., Massa, D., Milazzo, P., Ruggeri, A. (2018). Information technology controlled greenhouse: A system architecture. In 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iot-tuscany.2018.8373044>
- Chen, S. H., Jakeman, A. J., & Norton, J. P. (2008). Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems. Mathematics and Computers in Simulation, 78(2-3), 379-400.
- Corea, F. (2019). Ai knowledge map: How to classify ai technologies. In F. Corea, An Introduction to Data (Vol. 50, pp. 25-29). https://doi.org/10.1007/978-3-030-04468-8_4
- Dan, L., Jianmei, S., Yang, Y., & Jianqiu, X. (2016). Precise Agricultural Greenhouses Based on the IoT and Fuzzy Control. In 2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS). IEEE.
- Dholu, M., & Ghodinde, K. A. (2018). Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application. In 2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icoei.2018.8553720>
- Di, L., Yu, E. G., Yang, Z., Shrestha, R., Kang, L., Zhang, B., & Han, W. (2015). Remote sensing based crop growth stage estimation model. In 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE.

- Durmus, H., Gunes, E. O., & Kirci, M. (2016). Data acquisition from greenhouses by using autonomous mobile robot. In 2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). IEEE. <https://doi.org/10.1109/agro-geoinformatics.2016.7577696>
- FAO. (2017). The future of food and agriculture: trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gemtos, T. A., Fountas, S., & Aggelopoulou, K. (2011). Precision Agriculture Applications In Horticultural Crops In Greece and Worldwide. In HAICTA.
- Handbook of Precision Agriculture. (2006). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482277968>
- Heidari, M., & Khodadadi, H. (2017). Climate control of an agricultural greenhouse by using fuzzy logic self-tuning PID approach. In 2017 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC). IEEE. <https://doi.org/10.23919/iconac.2017.8082074>
- Li, Z., & Chen, Z. (2011). Remote sensing indicators for crop growth monitoring at different scales. In 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE. <https://doi.org/10.1109/igarss.2011.6050124>
- Liu, Q., Jin, D., Shen, J., Fu, Z., & Linge, N. (2016). A WSN-based prediction model of microclimate in a greenhouse using extreme learning approaches. In 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icact.2016.7423608>
- MacKerron, D. K. L. (2005). Agrometeorology. Principles and Application of Climate Studies in Agriculture. By H. S. Mavi and G. J. Tupper. Binghamton, NY, USA: Haworth Press (2004), pp. 364, US \$95.95. ISBN 1-56022-972-1. Experimental Agriculture, 41(2), 267–267. <https://doi.org/10.1017/S0014479704212613>
- Madushanki, A. A. R., N, M., A., W., & Syed, A. (2019). Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming towards Urban Greening: A Review. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10(4). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100402>
- Narmada, A., & Rao, P. S. (2012). Zigbee Based WSN with IP Connectivity. In 2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation. IEEE. <https://doi.org/10.1109/cimsim.2012.39>
- Nawandar, N. K., & Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. Computers and Electronics in Agriculture, 162, 979–990. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.027>
- Park, Y., Na, M. H., & Cho, W. (2019). Determination on environmental factors and growth factors affecting tomato yield using pattern recognition techniques. Multimedia Tools and Applications, 78(20), 28815–28834.

- Ramesh Kumbhar, S. (2014). An Overview on Use of Artificial Intelligence Techniques in Effective Security Management. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 2(9).
- Rathinam D, D. K., D, S., A, S., A, S. G., & J, S. (2019). Modern Agriculture Using Wireless Sensor Network (WSN). In 2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS). IEEE.
- Sallis, P. (2011). Keynote 1: Food for the World -- GeoComputation Meeting the Challenge. (2011). In 2011 Uksim 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE. <https://doi.org/10.1109/uksim.2011.10>
- van Evert, F., Gaitán-Cremaschi, D., Fountas, S., & Kempenaar, C. (2017). Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? *Sustainability*, 9(10), 1863. <https://doi.org/10.3390/su9101863>

Implementación de un plano Wavelet de escalamiento utilizado durante el proceso de fusión de imágenes Ikonos, a partir de la descomposición à trous

Giselle Helena Toro Garay¹, Javier Median Daza²

ghotorog@correo.udistrital.edu.co, rmedina@udistrital.edu.co

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, 110001, Bogotá, Colombia.

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, 110001, Bogotá, Colombia.

Pages: 230–243

Resumen: La fusión de imágenes satelitales representa una de las técnicas más eficientes para obtener imágenes con mayor calidad espacial o espectral según las necesidades del usuario. Sin embargo estas resoluciones actúan de forma inversa, al obtener mayor proporción de una se presenta una pérdida mayor de la otra, varios algoritmos y modificaciones a ellos se han presentado para intentar disminuir esta proporción o mantenerla en niveles similares. En el presente trabajo se usa la fusión de imágenes mediante la transformada wavelet discreta; aplicando el algoritmo à trous, en este algoritmo la descomposición es rectangular y se utiliza generalmente el filtro espacial b3 spline, durante el proceso este filtro es expandido, como propuesta se modifica dicha expansión, manteniendo las condiciones de simetría, encontrando así, una imagen fusionada que evaluada con diferentes índices de calidad (Entropía, Calidad Universal, Divergencia, Bias, Coeficiente de correlación, RASE, RMSE, ERGAS, RASE) presenta mayor riqueza espectral y mantiene en gran medida la riqueza espacial.

Palabras-clave: Transformada Wavelet, à trous, b3 spline, filtro espacial, fusión de imágenes

Implementation of a scaling Wavelet plane used during the Ikonos image fusion process, from decomposition à trous

Abstract: The fusion of satellite images represents one of the most efficient techniques to obtain images with high spatial or spectral quality according to the user's needs. However, these modifications act in inverse form, when obtaining high quality in a spectral resolution, there is a loss of quality than the other. Several algorithms and modifications have been presented to try to decrease this proportion or keep it at similar levels. In this work, image fusion is used with the discrete wavelet transform; applying the à trous algorithm. In this algorithm the decomposition is rectangular and the spatial filter spatial filter b3 spline is generally

used. during the process this filter is expanded, as proposed, this expansion is modified, keeping the symmetry conditions, which allows us to find a fused image that assess with different quality indices (Entropy , Universal Quality, Divergence, Bias, Correlation coefficient, RASE, RMSE, ERGAS, RASE) it has a greater spectral richness and largely maintains spatial richness.

Keywords: Wavelet Transform, à trous, b3 spline, spatial filter, Image fusion.

1. Introdução

El procesamiento digital de imágenes tiene como objetivo principal, encontrar imágenes más adecuadas para ciertos estudios que requieren mayor calidad espacial o espectral, entre ellos clasificación, detección de objetos o estudios multitemporales

Estas imágenes son corregidas geométrica y radiométricamente previamente durante la adquisición; sin embargo muchas veces no cumplen con las necesidades del usuario. Aun así obtener varias imágenes para cubrir una escena o resolución deseada puede ser costosa o por condiciones atmosféricas no estar disponible (Chuvieco Salinero, 2006). Es entonces que lo recomendable es usar técnicas digitales.

La fusión de imágenes, ha sido ampliamente utilizada para incorporar información entre dos o más imágenes de tal forma que conserven las características deseables de cada una, esto se puede hacer con varios sensores o con uno, en el último caso se utiliza la imagen Pancromática (PAN) y la imagen multiespectral (MUL). Dicho resultado deseado es una imagen con la resolución espacial de la imagen (PAN) y la calidad espectral de la imagen (MUL) (Amolins, Zhang, & Dare, 2007).

Algunas técnicas convencionales para fusionar imágenes incluyen, la transformada de Brovey, (Gillespie, Kahle, & Walker, 1987) , transformada IHS (Tu, Su, Shyu, & Huang, 2001), análisis de los componentes Principales (PCA) (Chavez, Jr, Pat & Sides, Stuart & Anderson, 1991) y los métodos basados en Wavelet (Li, Manjunath, & Mitra, 1995). Sin embargo se ha demostrado que algunos de estos métodos como el análisis de componentes principales y la transformada de Brovey muestran una alta distorsión espectral (Divekar & Ersoy, 2009).

En general, los métodos convencionales de fusión de imágenes tienen éxito al inyectar detalles espaciales en las imágenes multiespectrales, pero distorsionan la información de color en el proceso (Amolins et al., 2007).

Estudios posteriores han incluido técnicas de fusión incluyendo procedimientos con la transformada wavelet bidimensional, la cual consiste en descomponer la señal por medio de ciertas funciones Wavelet, las cuales se obtienen a partir de una función Wavelet madre. La descomposición permite obtener unos coeficientes que son susceptibles de interpretación y posterior manipulación (Balbuena Campuzano & Alberto, 2007) (Toro Garay, 2016) Para la realización de la descomposición se utilizan generalmente dos tipos de algoritmos Mallat (S. G. Mallat, 1989) y à trous (Dutilleux, 1990a) este ultimo que no disminuye el tamaño de las imágenes a diferencia de Mallat, que se realiza en forma piramidal.

Para este trabajo se ha utilizado el algoritmos à trous el cual se ha demostrado mejores resultados tanto en calidad espacial como espectral que Mallat por realizar un análisis pixel por pixel de la imagen (Lillo-saavedra, 2004)

La descomposición à trous genera diferentes planos wavelet mediante un filtro espacial conocido como b-spline cubica, para el segundo plano se realiza una interpolación que logra ampliar el tamaño del filtro.

El presente artículo presenta una modificación en la ampliación del filtro espacial b-spline cubica, que logra mejorar la riqueza espectral y disminuir la pérdida espacial dentro de la imagen. Una vez aplicada la transformación wavelet el resultado ha sido evaluado con los estadísticos ERGAS, RMSE, Bias, Q (Calidad universal), CC (Coeficiente de correlación) y divergencia. Demostrando que el filtro propuesto tiene mejores resultados que el filtro original. Adicionalmente ha sido comparada con los resultados del método convencional de la bi-spline cubica.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicada en una zona de Bogotá Colombia conocida como el parque Simón Bolívar, este es uno de los pulmones principales de la ciudad y tiene gran relevancia ambiental como estructura ecológica principal.

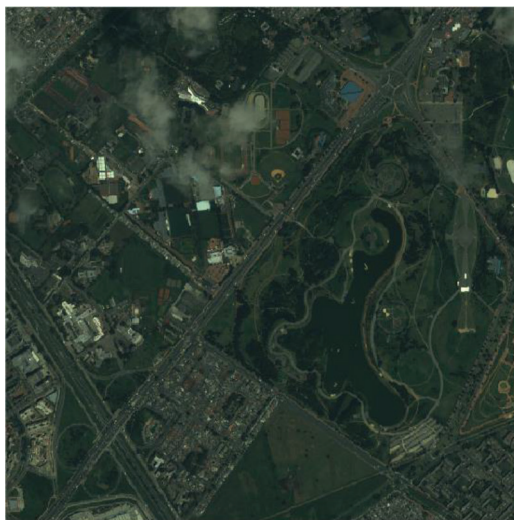


Figura 1 – Área de estudio

La Figura 1 muestra el área de estudio que contiene coberturas de interés tanto urbanas, de vegetación y cuerpos de agua, lo que la hace deseable para las pruebas del filtro realizadas. La imagen es una captura del sensor IKONOS, en las coordenadas $4^{\circ}39'31.0''\text{N}$ $74^{\circ}05'38.6''\text{W}$ y fue reproyectada al sistema 3116 Magna SIRGAS.

2.2. Descomposición Wavelet

La transformada Wavelet discreta (TWD) es una transformación de tipo lineal que tiene utilidad en el análisis de señales, entre sus aplicaciones está separar conjuntos de

datos en componentes de frecuencias distintas que posteriormente se representan en escalas comunes. Las versiones multidimensionales de la TWD se construyen a partir de la base Wavelet unidimensional (1-D). Esto hace que su versión bidimensional (2-d), pueda detectar discontinuidades en puntos únicos, pero sin favorecer la integración en segmentos únicos. (Lillo-Saavedra & Gonzalo, 2007)

Representa en esencia una alteración lineal que funciona en un vector de datos. Es calculado de forma efectiva con una cascada de filtrado seguido de un submuestreo de factor de 2, como los filtros de paso alto y bajo correspondiente. El componente de alta frecuencia de la señal se representa como descomposición a baja escala, que se denota como coeficientes detallados. Mientras que el componente de baja frecuencia de las señales se determina como una descomposición de gran escala que se denominan como los coeficientes de aproximación. Luego las señales deben normalizarse para disminuir la dificultad debida a las magnitudes de las líneas (Mohan & Kiran, 2018).

Formalmente la transformada Wavelet es una descomposición multi-escala, desarrollada para analizar funciones o señales de una dimensión y ha demostrado que es la representación óptima en señales suaves a trozos, con un número finito de discontinuidades. Las bases Wavelet son funciones $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ que cumplen con dos condiciones: están localizadas en tiempo y frecuencia, es decir $\psi(x) < \varepsilon$ para $|x| > T$, con $T < \varepsilon$ con $|\xi| > \Omega$, con Ω (Enrique & Guzman, 2011) y cumplen la condición de admisibilidad

$$2\pi \int |\psi(\xi)|^2 * |\xi|^{-1} d\xi < \infty. \text{ Se asume que } \|\psi\| = 1 \text{ y que } \int \psi(x) dx = 0 \quad (1)$$

Su descomposición se realiza mediante varios métodos en el presente trabajo se desarrolló por adición.

El método aditivo (Núñez et al., 1999) muestra la agregación de los planos ondulados de alta resolución de la imagen a la imagen multiespectral. Los pasos en este artículo del método “aditivo” son los siguientes.

“Agregar a los componentes: la primera posibilidad es agregar la información de alta resolución directamente a las bandas R,G y B

- Descomponer solo la imagen pancromática de alta resolución a wavelets en n planos (niveles de resolución). Generalmente $n=2$ o 3.
- Agregar los planos ondulados de la descomposición pancromática a las bandas R, G y B de la imagen multiespectral
- Agregar los planos ondulados de la descomposición pancromática a la componente L.” (Núñez et al., 1999)

2.3. Algoritmos de descomposición

Para la realización de la descomposición wavelet los algoritmos más utilizados son Mallat y a trous.

Mallat

Mediante la descomposición Mallat (S. Mallat, 2009) es posible obtener imágenes de alta calidad, sin embargo al ser un proceso de filtrado direccional se tienen problemas

con los bordes de objetos que se encuentren en diferentes direcciones a la horizontal (Lillo-saavedra, 2004)

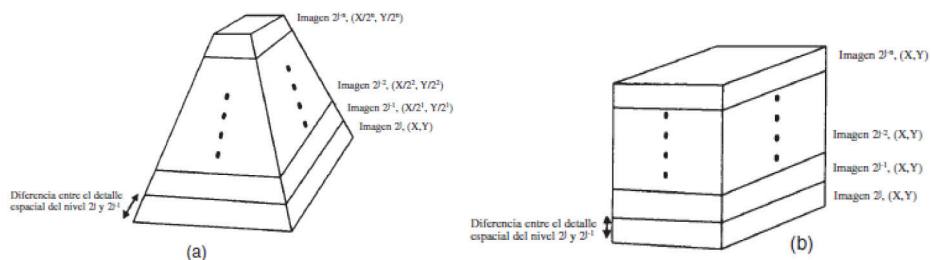


Figura 2 – Algoritmo de descomposición. 1a) Descomposición Mallat. 1b) Descomposición à trous. Tomada de (Lillo-Saavedra & Gonzalo, 2006)

La Figura 2a muestra la descomposición tipo Mallat en ella se puede observar la disminución del tamaño de la imagen a medida que el nivel de descomposición aumenta, por esta razón se conoce como piramidal

À trous

El procesamiento rectangular por à trous tiene un coste computacional más alto, pero obtiene redundancia en la información lo que permite mantener mayor información durante la fusión. por realizar un análisis pixel por pixel de la imagen (Lillo-saavedra, 2004)

Generalmente la fusión de imágenes con el algoritmo de descomposición a trous se puede realizar de dos maneras

- Sustituyendo la baja frecuencia de la imagen (MUL) por la alta frecuencia que corresponde a la imagen pancromática (PAN)
- Agregando la alta frecuencia de la imagen (PAN) en la imagen multispectral (MUL) (Kim, Lee, Han, Kim, & Kim, 2011)

Sin embargo se ha demostrado que el algoritmo de a trous obtiene mejores resultados (Chibani & Houacine, 2003)

En la Figura 2b se relaciona la descomposición de este tipo, en ella se puede ver una rectangularidad en cada plano que se mantiene a medida que cambia el nivel de descomposición

2.4. Modificación Propuesta

Como se mencionó anteriormente el algoritmo à trous para descomposición Wavelet, resulta ser el más efectivo en tareas de fusión comprado con Mallat, para su realización se utiliza un filtro espacial conocido como b3 spline (Starck, Murtagh, & Bijaoui, 1994). En una dimensión a escala 16 la máscara es (1,4,6,4,1).

Su uso en 2 dimensiones es una convolución con una máscara 5X5, donde todos los elementos están escalados en 256 (Starck et al., 1994) resultando:

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

En cada escala i , se obtiene un conjunto $\{w_i\}$ conocido como plano wavelet; este tiene el mismo número de píxeles de la imagen (Starck et al., 1994), que es la característica principal del algoritmo à trous

Finalmente el primer plano wavelet modificado tendría una matriz de la siguiente forma

$$\begin{bmatrix} 0.003 & 0.031 & 0.109 & 0.218 & 0.273 & 0.218 & 0.109 & 0.031 & 0.003 \\ 0.031 & 0.250 & 0.875 & 1.750 & 2.187 & 1.750 & 0.875 & 0.250 & 0.031 \\ 0.109 & 0.875 & 3.062 & 6.125 & 7.656 & 6.125 & 3.062 & 0.875 & 0.109 \\ 0.218 & 1.750 & 6.125 & 12.25 & 15.31 & 12.25 & 6.125 & 1.750 & 0.218 \\ 0.273 & 2.187 & 7.656 & 15.31 & 19.14 & 15.31 & 7.656 & 2.187 & 0.273 \\ 0.218 & 1.750 & 6.125 & 12.25 & 15.31 & 12.25 & 6.125 & 1.750 & 0.218 \\ 0.109 & 0.875 & 3.062 & 6.125 & 7.656 & 6.125 & 3.062 & 0.875 & 0.109 \\ 0.031 & 0.250 & 0.875 & 1.750 & 2.187 & 1.750 & 0.875 & 0.250 & 0.031 \\ 0.003 & 0.031 & 0.109 & 0.218 & 0.273 & 0.218 & 0.109 & 0.031 & 0.003 \end{bmatrix} \quad (3)$$

La ecuación 3 representa la modificación descrita, en ella los valores producidos en 0, son normalizados poniendo un valor de 1, esto permite que la resolución espacial se mantenga con una pérdida mínima respecto al filtro original, pero que la riqueza espectral aumente significativamente. Manteniendo un filtro simétrico, dentro de los valores escalados a 256 y con el tamaño necesario para no afectar el algoritmo. Se presenta en decimal para facilitar su comprensión.

El proceso de descomposición mediante el algoritmo se realiza en los siguientes pasos:

- I. La imagen original composición a color RGB (Verdadero color) es transformada al espacio de color IHS (Intensidad, Matiz y Saturación) y la componente Intensidad es separada (Toro-garay & Medina-daza, 2017)
- II. Ajustar histogramas entre la imagen PAN y la Intensidad
- III. Aplicar la descomposición wavelet con el filtro 5x5 Ecuación (2), obteniendo una nueva imagen pancromática. Generar la diferencia entre la imagen PAN ajustada y la PAN Filtrada; obteniendo el primer plano Wavelet
- IV. Encontrar el segundo plano wavelet con el filtro expandido modificado 9X9 Ecuación (3) y la diferencia entre las imágenes PAN obtenidas a partir de la descomposición wavelet.
- V. Usar el método aditivo para crear la nueva imagen entre los planos wavelet encontrados y la Intensidad

VI. Realizar la transformación de espacio de color IHS a RGB nuevamente, obteniendo una nueva imagen fusionada integrada con la resolución de la PAN

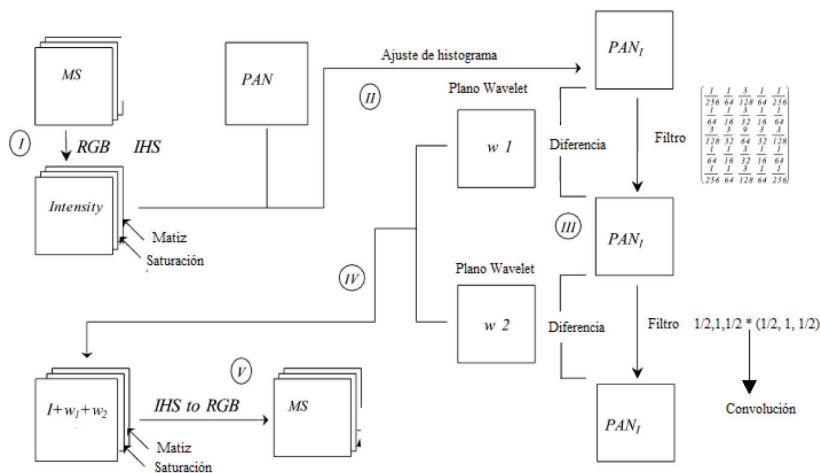


Figura 3 – Fusión de imagen degradada, aplicando el algoritmo à trous y filtro propuesto. Metodo a partir de (González-Audicana, Otazu, Fors, & Seco, 2005)

La figura 3, muestra el método aditivo de fusión por medio de la transformada wavelet discreta, en ella se observa la inclusión del filtro, y la modificación del segundo plano Wavelet, siguiendo los pasos descritos previamente.

2.5. Índices de evaluación

Dada la utilización de diferentes metodologías y la obtención de varias fusiones según las necesidades del usuario; es necesario realizar una evaluación de la calidad, para su posterior interpretación. Para esto a menudo deben ser correlacionadas con la imagen original para garantizar el cumplimiento del propósito de la imagen resultante (Vaiopoulos, 2011).

En este trabajo se utilizaron los índices de evaluación Entropía, Calidad Universal, Divergencia, Bias, Coeficiente de correlación, RASE, RMSE, ERGAS, RASE para este fin.

El índice ERGAS espectral (del francés Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) (Medina, Joyanes Aguilar, Ruiz, Ardila, & Pineda, 2013) viene dada por la ecuación.

$$ERGAS_{Espectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{bandas}} \sum_{i=1}^{N_{bandas}} \left[\frac{RMSE_{Espectral}(Banda^i)^2}{(MULTI^i)^2} \right]} \quad (4)$$

Donde h y l representan la resolución espacial de las imágenes pancromáticas (PAN) y multiespectrales (MULTI) ; NBands es el número de bandas de la imagen fusionada;

MULTI i es el valor de la radiancia e la banda i -ésima de imagen (Ranchin & Wald, 2000)

RMSE será define a continuación (Medina et al., 2013)

$$RMSE_{\text{Espectral}}(Banda^i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{j=1}^{NP} (MULTI^i(j) - FUS^i(j))^2} \quad (5)$$

El índice RASE se expresa como un porcentaje

$$RASE = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(RMSE(B_i))^2}{M_i^2} \right]} \quad (6)$$

Donde h es la alta resolución espacial (imagen pancromática) y l es la baja resolución espectral (imagen multiespectral) (Ranchin & Wald, 2000) . Los mejores resultados se obtienen cuanto el porcentaje está más cerca a cero (Medina et al., 2013)

La calidad universal proporciona un modelo de índice de calidad identifica cualquier distorsión como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y contraste de distorsión (Medina et al., 2013). Los mejores valores de este índice se obtienen cuando el valor es más cercano a uno (Toro Garay, 2016)

$$Q = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2(\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (7)$$

Así mismo el coeficiente de correlación, donde la correlación entre las diferentes bandas de las imágenes fusionadas y las bandas de la imagen original se pueden calcular así:

$$\text{corr}(A/B) = \frac{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})(B_j - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{npix} (A_j - \bar{A})^2 \sum_{j=1}^{npix} (B_j - \bar{B})^2}} \quad (8)$$

Donde A y B son los valores media de las imágenes correspondientes, $\text{corr}(A/B)$ se llama coeficiente de correlación y varía entre -1 y $+1$. Se usan los signos $+$ y $-$ para las correlaciones positivas y negativas, respectivamente. Nótese que $\text{corr}(A/B)$ es una cantidad adimensional. Se espera que el valor de la correlación sea 1. (Medina et al., 2013).

BIAS, “el principio básico de la fidelidad espectral es que la información de baja frecuencia espacial en la imagen de alta resolución no debe ser absorbido a la imagen de fusión, a fin de preservar el contenido espectral de la imagen original de multiresolución” (Rodríguez & Sossa, 2011) . Bias de media es la diferencia entre las medias de la imagen original multiespectral y de la imagen fusionada, su valor se da en relación a la imagen original y el valor ideal debe ser cero (Rodríguez & Sossa, 2011)

$$BM = 1 - \frac{\text{Media (Imagen fusionada)}}{\text{Media (Imagen original)}} \quad (9)$$

ENTROPIA, puede mostrar la información de media incluida en la imagen y reflejar la información de detalle de la imagen fusionada; comúnmente la mayor es la entropía de la imagen fusionada, la información más abundante está incluida en ella y mayor será la calidad de la fusión. A mayor entropía se presentara más desorden en los niveles de gris (Rodríguez & Sossa, 2011).

$$E = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (10)$$

DIVERGENCIA: Es la diferencia entre las varianzas de la imagen original y la imagen fusionada, su valor ideal es 0.

$$Div = 1 - \frac{\text{Varianza (Imagen fusionada)}}{\text{Varianza (Imagen original)}} \quad (11)$$

3. Resultados

En los resultados se observó una mejoría realizando una comparación con el filtro espacial b3 spline (Dutilleux, 1990b) usado generalmente en este proceso de descomposición

3.1. Imagen Fusionada

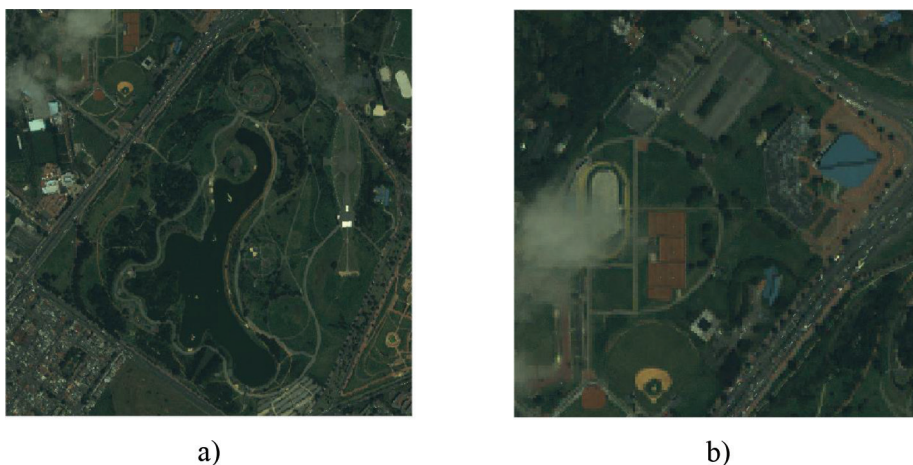


Figura 4 – Imagen Fusionada a partir del método propuesto. a) Cuerpo de agua parque Simon Bolivar. b) Construcciones

Las imágenes producidas, han seguido el proceso descrito en la metodología (Figura 3). Se utilizó la composición RGB verdadero color, descrita de aquí en adelante

como la imagen original, y se han realizado dos fusiones, la primera con el filtro espacial descrito en la Ecuación 2 y su expansión con ceros y el segundo con la expansión del filtro propuesto. Con lo cual se han obtenido los resultados presentados a continuación

La Figura 4a) Muestra el detalle espacial luego de la aplicación de la fusión, en ella se puede observar que se conserva el color de la imagen original Figura 1, además de detallar los caminos dentro de la zona verde, y otros detalles como construcciones pequeñas y vías. En la Figura 4b, se muestran un detalle de construcciones y canchas de diferentes deporte, con coberturas diferentes lo que demuestra una mejoría en la imagen.

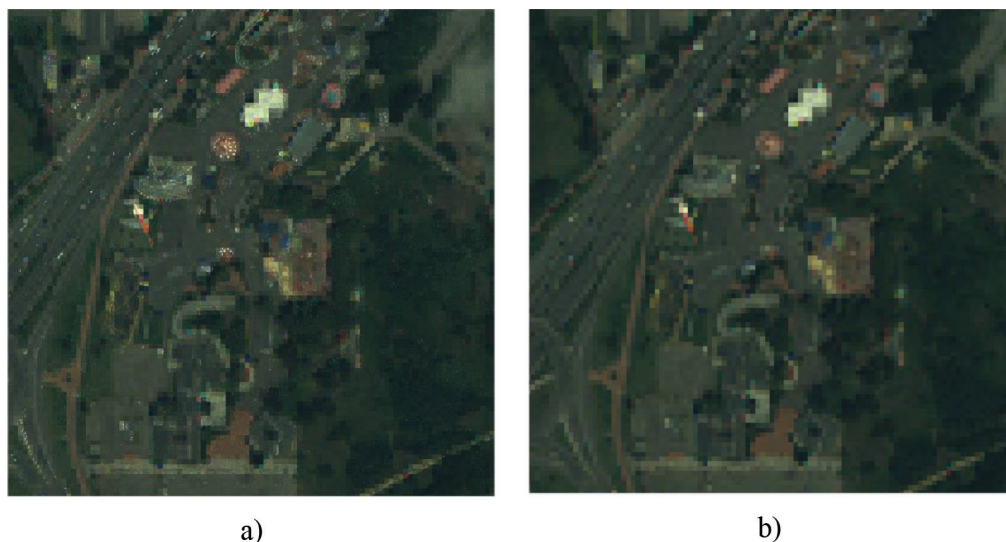


Figura 5 – Imagen Fusionada a partir del método propuesto.
a) Imagen fusionada. b) Imagen original

La figura 5 muestra una comparación entre la imagen fusionada y la imagen original, en un acercamiento de la zona conocida como el parque de los niños en la que hay un avión de exhibición, se puede observar una mejor definición de las formas en la imagen fusionada 5a, en la que la estructura, forma y color del avión posee mayor riqueza espectral y espacial

3.2. Evaluación de la calidad espacial y espectral

Se puede observar que los índices para la imagen fusionada con la modificación propuesta respecto al componente espectral aumentan en comparación con el filtro b3 spline, algunos de los índices como coeficiente de correlación (CC) y calidad universal (Q) que permiten evaluar la mejoría tienen valores cercanos a 1 y superiores a la imagen fusionada con el método común.

Respecto al componente espacial se encuentra una diferencia en los índices de 0.04, con una pérdida inferior en el algoritmo b3 spline sin modificación, sin embargo, esta no

se consideró una modificación significativa dado que los valores en el filtro modificado se mantienen en la misma proporción y además con este filtro modificado se obtienen valores espectrales mucho mayores

Indice	Imagen Fusionada Filtro Propuesto		Imagen Fusionada Filtro b3 spline	
	Espectral	Espacial	Espectral	Espacial
CC	0,96	0,57	0,94	0,61
Q	0,95	0,56	0,92	0,60
ERGAS	2,76	8,35	3,94	8,10
Divergencia	-0,18	-0,03	-0,34	-0,17
Bias	-0,04	0,123	-0,07	0,0980
RMSE	5,53	20,00	7,89	19,39
RASE	11,06	33,42	15,76	32,40
Entropia	5,88	5,88	5,95	5,95

Tabla 1 – Evaluación de la calidad de la sub imagen Ikonos realizada a través de los índices

La Tabla 1 muestra los índices evaluados para cada uno de las imágenes fusionadas, en ellos se observa el promedio de las tres bandas que actúan en la fusión RGB. Analizando dichos resultados se puede demostrar que la modificación propuesta en el algoritmo muestra una mejoría en la riqueza espectral y mantiene con una diferencia mínima la riqueza espacial de las imágenes fusionadas.

4. Conclusiones

El procesamiento digital de imágenes ha tenido grandes avances para la consecución de imágenes multiespectrales de alta calidad, esto dependiendo de la aplicación. La expansión del filtro generalmente utilizado en la descomposición à trous, representa un avance significativo en la consecución de este objetivo. Este avance se traduce en mayor medida en la ganancia de riqueza espectral en donde se encontraron valores de 0,96 y 0,95 para los índices de correlación y calidad universal. Adicionalmente en búsqueda de una menor distorsión de la imagen, esta expansión del filtro propuesto demuestra conservación en la riqueza espacial, comparada con el filtro original. En este contexto este avance permite obtener detalles de objetos como cuerpos de agua, construcciones y vías útiles para la interpretación de imágenes.

Referencias

Amolins, K., Zhang, Y., & Dare, P. (2007). Wavelet based image fusion techniques - An introduction, review and comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(4), 249–263. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.05.009>

- Balbuena Campuzano, C. A., & Alberto, C. (2007). *Método de protección con “marca de agua” para imágenes digitales, utilizando una técnica de representación orientada geoméricamente: contourlet*. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/1940>
- Chavez, Jr, Pat & Sides, Stuart & Anderson, J. (1991). Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 265–303. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/200458993_Comparison_of_Three_Different_Methods_to_Merge_Multiresolution_and_Multispectral_Data_Landsat_TM_and_SPOT_Panchromatic/citation/download
- Chibani, Y., & Houacine, A. (2003). Redundant versus orthogonal wavelet decomposition for multisensor image fusion. *Pattern Recognition*, 36(4), 879–887. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(02\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(02)00103-6)
- Chuvieco Salinero, E. (2006). *Teledetección ambiental : la observación de la tierra desde el espacio*. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UCC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=067336>
- Divekar, A., & Ersoy, O. (2009). Image fusion by compressive sensing. *2009 17th International Conference on Geoinformatics*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293446>
- Dutilleul, P. (1990a). *An Implementation of the “algorithme à trous” to Compute the Wavelet Transform*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75988-8_29
- Dutilleul, P. (1990b). *An Implementation of the “algorithme à trous” to Compute the Wavelet Transform*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75988-8_29
- Enrique, J., & Guzman, V. (2011). *Representación eficiente de una base de datos de imágenes 4D de resonancia magnética cardíaca* (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/5789/1/299678.2011.pdf>
- Gillespie, A. R., Kahle, A. B., & Walker, R. E. (1987). Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and “chromaticity” transformation techniques. *Remote Sensing of Environment*, 22(3), 343–365. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(87\)90088-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90088-5)
- González-Audicana, M., Otazu, X., Fors, O., & Seco, A. (2005). Comparison between Mallat’s and the “à trous” discrete wavelet transform based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images. *International Journal of Remote Sensing*, 26(3), 595–614. <https://doi.org/10.1080/01431160512331314056>
- Kim, Y., Lee, C., Han, D., Kim, Y., & Kim, Y. (2011). Improved Additive-Wavelet Image Fusion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(2), 263–267. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2010.2067192>
- Li, H., Manjunath, B. S., & Mitra, S. K. (1995). Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform. *Graphical Models and Image Processing*, Vol. 57, pp. 235–245. <https://doi.org/10.1006/gmip.1995.1022>

- Lillo-saavedra, C. G. M. (2004). *Control de la calidad espacial y espectral de imágenes de satélite fusionadas mediante el algoritmo wavelet à trous*. 47–53. Retrieved from <http://www.aet.org.es/revistas/revista22/AET22-07.pdf>
- Lillo-Saavedra, M., & Gonzalo, C. (2007). Multispectral images fusion by a joint multidirectional and multiresolution representation. *International Journal of RemoteSensing*, 28(18), 4065–4079. <https://doi.org/10.1080/01431160601105884>
- Lillo-Saavedra, M., & Gonzalo, C. (2006). Spectral or spatial quality for fused satellite imagery? A trade-off solution using the wavelet à trous algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1453–1464. <https://doi.org/10.1080/01431160500462188>
- Mallat, S. (2009). A Wavelet Tour of Signal Processing. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374370-1.X0001-8>
- Mallat, S. G. (1989). A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), 674–693. <https://doi.org/10.1109/34.192463>
- Medina, J., Joyanes Aguilar, L., Ruiz, C. P., Ardila, O., & Pineda, F. (2013). *Evaluación de la fusión de imágenes satelitales usando la Transformada rápida de Wavelet haar y contourlet*. Retrieved from <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP069.pdf>
- Mohan, C. R., & Kiran, S. (2018). *Image Enrichment Using Single Discrete Wavelet Transform Multi-resolution and Frequency Partition*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7868-2_9
- Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Palà, V., & Arbiol, R. (1999). Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3 I), 1204–1211. <https://doi.org/10.1109/36.763274>
- Ranchin, T., & Wald, L. (2000). Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(1), 49–61.
- Rodríguez, R., & Sossa, J. H. (2011). *Procesamiento y análisis digital de imágenes*. Ra-Ma.
- Starck, J.-L., Murtagh, F. D., & Bijaoui, A. (1994). Image restoration with noise suppression using a wavelet transform and a multiresolution support constraint. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2302(1994).
- Toro-garay, G. H., & Medina-daza, R. J. (2017). Fusion of WorldView2 images using Contourlet , Curvelet and Ridgelet transforms for edge enhancement : *Revista Facultad de Ingenieria*, 85, 8–17. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n85a02>
- Toro Garay, G. H. (2016). *Extracción de Objetos Geográficos Mediante Morfología Matemática a partir de Transformadas Wavelet* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3046>

- Tu, T.-M., Su, S. hu.-C., Shyu, H., & Huang, P. S. (2001). A new look at IHS-like image fusion methods. *Information Fusion*, 2(3), 177–186. [https://doi.org/10.1016/S1566-2535\(01\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S1566-2535(01)00036-7)
- Vaiopoulos, A. D. (2011, October 6). *Developing Matlab scripts for image analysis and quality assessment* (U. Michel & D. L. Civco, Eds.). <https://doi.org/10.1117/12.897806>

Análise de decisão para selecionar uma solução de nuvem corporativa

Ana Carla Bittencourt Reis¹, Leonardo dos Santos Dourado¹, Francisco Firmino da Nóbrega¹

anacarlabr@unb.br, eng.leonardo.dourado@gmail.com, redesneto@gmail.com

¹ Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPCA, Universidade de Brasília - UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900, Brasília, Brasil

Pages: 244–257

Resumo: A computação em nuvem está cada dia mais comum entre empresas de pequeno e médio porte, especialmente porque a manutenção de um data center não é algo viável para a maioria das empresas, em termos de investimento em infraestrutura. Alguns fatores têm contribuído para a expansão da utilização de nuvem, como a rápida evolução no campo de infraestrutura de Tecnologia de Informação e a crescente necessidade por capacidade de processamento e de armazenamento de dados. Neste cenário, um dos principais desafios é escolher um provedor de serviços em nuvem que ofereça os melhores benefícios para o negócio de acordo com as necessidades da organização. Este trabalho apresenta um modelo de decisão multicritério para escolha da solução de nuvem corporativa adequada. Como resultado principal, este trabalho proveu a priorização dos provedores de serviços de nuvem com base em critérios relevantes para o contexto decisório, incorporando o julgamento de valor do decisor.

Palavras-chave: Computação em nuvem, Multi Criteria Decision Analysis, PROMETHEE II.

Decision Analysis to Select a Corporate Cloud Solution

Abstract: The adoption of cloud computing is becoming more common now- adays among small-sized and middle-sized companies, mainly because to main- tain a data center is not viable for the most companies due the investment In- formation Technology infrastructure. Some factors have been contributing to increase the cloud usage, like the quick evolving in the field of the Information Technology infrastructure and the growing necessity for capacity to process and store data. In this scenario, one of the main challenges is to choose a cloud ser- vice provider that offers the best benefits to the business in according with the company needs. This work presents a multi-criteria decision model to support the decision makers to choose the suitable corporative cloud computing solu- tion. This study ranked cloud service providers using important criteria in the context of the decision, aggregating the value of decision maker opinion.

Keywords: Cloud Computing, Multi Criteria Decision Analysis, PROMETHEE-II.

1. Introdução

Computação em nuvem é uma tecnologia que evoluiu significativamente com o uso da Internet. Na computação em nuvem um cliente acessa um conjunto compartilhado de recursos de computação, como redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços sob demanda que podem ser rapidamente provisionados com o mínimo esforço (Mell & Grance, 2011). Esse modelo de nuvem é composto por cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de implantação (Grance., 2011).

Os serviços disponibilizados pelos provedores de nuvem são acessados por vários clientes que não sabem como a infraestrutura foi construída. Esta situação se assemelha à provisão de serviços utilitários, como eletricidade e água, onde as pessoas consomem em suas casas ou locais de trabalho todos os dias (Grance, 2011). Os clientes veem o provedor como um conjunto de recursos os quais eles podem utilizar para disponibilizar seu software (Yazir, 2018).

Em 2017, das empresas listadas na "Fortune Global 50", apenas duas não anunciaram o uso desse tipo de tecnologia (Dino, 2017). A IDC (International Data Corporation) prevê que até em 2020 mais de 90% das empresas utilizarão vários serviços e plataformas em nuvem e mais de um terço dessas organizações estabelecerão mecanismos para operar em diversos provedores de serviço na nuvem (Newmark, 2018).

Para atender a essa crescente demanda por serviços de computação em nuvem, várias empresas disponibilizaram suas nuvens usando várias tecnologias diferentes. Conforme apresentado por Dino (2017), os principais provedores de nuvem em 2018 são: Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform, IBM Cloud, Oracle Cloud e Alibaba Cloud.

A natureza dinâmica dos serviços em nuvem, a elasticidade e o fornecimento sob demanda de recursos de computação, resulta em uma flutuação considerável na Qualidade de Serviço (QoS) oferecida por cada provedor (Yang, Liu, Chen, Li & Tang (2018). Conforme os autores, analisar toda a variedade e inconsistência do desempenho do serviço e selecionar o provedor de acordo com os critérios de cada usuário é uma tarefa difícil e importante.

Neste artigo é apresentado um modelo de decisão para ajudar na escolha de um provedor de serviço na nuvem utilizando a análise de decisão multicritério (MCDA).

2. Computação em Nuvem

A explosão de serviços em nuvem levantou novos desafios na seleção e classificação desse tipo de serviço, pois existem vários provedores que oferecem funcionalidades equivalentes (Bhushan, & Reddy, 2016a; Kaveri, Gireesha, Somu, Raman & Sriram, 2017; Ben-Abdallah, Boukadi, Lloret & Hammami, 2019). Sendo assim, a diferenciação a respeito da confiança e qualidade entre os semelhantes serviços em um ambiente em nuvem, tornou-se uma tarefa desafiadora para os clientes (Sidhu & Singh, 2017, Kaveri, Gireesha, Somu, Raman & Sriram, 2017)

Sidhu e Singh (2019) apontam que a adoção da computação em nuvem transfere o controle de recursos aos provedores de serviços, podendo surgir várias questões de

segurança e privacidade, o que coloca como um critério importante a confiança do cliente no serviço do fornecedor da nuvem. Os clientes precisam de um senso de confiança no provedor de serviços para migrar seus negócios para a plataforma em nuvem.

A computação em nuvem foi definida pelo NIST (National Institute of Standards and Technology) em 2011 como um acesso sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (Lewis, 2017). Entretanto, a computação em nuvem é mais do que foi definida pelo NIST, devido à evolução da tecnologia.

A nuvem híbrida é uma combinação de nuvem pública e nuvem privada e por muitas razões as empresas continuarão utilizando os dois modelos. Pode-se enfatizar duas razões chave: a legislação vigente e os riscos relacionados à segurança da informação. Por outro lado, muitas empresas não têm recursos financeiros suficiente para investir em segurança de tecnologia de informação e acreditam que a nuvem é mais segura que o ambiente que eles são capazes de manter localmente (Lewis, 2017). O investimento que um provedor de nuvem precisa fazer para alcançar segurança da informação é bem menor que a infraestrutura local. O que justifica o menor custo é o fato do ambiente em nuvem ser compartilhado com muitos clientes, o que proporciona um ganho em escala (Lewis, 2017).

Diante deste contexto, a computação em nuvem é um modelo econômico para adquirir e gerenciar recursos de TI, principalmente para pequenas e médias empresas que não possuem recursos próprios de infraestrutura de TI localmente (Lewis, 2017).

A computação em nuvem é tarifada por acesso ou carga em aplicativos, ambientes de desenvolvimento e implantação de software e infraestrutura de TI. Essa é uma tecnologia eficiente que permite escalabilidade, agilidade, portabilidade, provisionamento e desprovisionamento sob demanda com baixo custo, quando comparado com soluções locais (Bojanova, Zhang, & Voas, 2013).

Atualmente os principais tipos de serviços em nuvem são: Plataforma como um serviço (PaaS), Infraestrutura como um serviço (IaaS), e, Software como um serviço (SaaS) conforme descrições a seguir.

A infraestrutura como um serviço (IaaS) é definida como um modelo em que os recursos de computação são provisionados ao cliente, geralmente como uma máquina virtual (Gesvindr & Buhnova, 2016). O modelo IaaS abstrai o hardware físico, não apenas com servidores virtuais, mas também com armazenamentos, oferecendo mais flexibilidade e mínima automação de aplicativos quando comparada com o PaaS e o SaaS (Somu, Kirthivasan & Sriram, 2017).

A plataforma como um serviço (PaaS) é uma plataforma em que o desenvolvedor é capaz de executar aplicativos na nuvem sem o controle da infraestrutura de nuvem, e ainda consegue disponibilizar aplicações e alterar as configurações do ambiente do aplicativo (Gesvindr & Buhnova, 2016). O PaaS está ajudando no processo de desenvolvimento e gerenciamento do ciclo de vida, pois essa plataforma de serviço foi criada para receber facilmente aplicações e gerenciar todo o portfólio de softwares que pertencem a uma organização (Cohen, 2013).

No modelo de software como um serviço (SaaS) o usuário utiliza um software disponibilizado na infraestrutura da nuvem, tem um controle limitado da configuração da aplicação, e não tem controle sobre a infraestrutura (Gesvindr & Buhnova, 2016). O SaaS foi responsável por grande parte dos serviços em nuvem serem fornecidos centralizadamente e medidos com base em assinatura (Yoo & Kim, 2018). Um dos motivos que está fazendo o SaaS crescer é a disponibilização do software em ambiente baseado em nuvem pelo fabricante de software (Lewis, 2017).

3. Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)

Decisões geralmente envolvem vários fatores pessoais e sociais que influenciarão no processo decisório. Problemas complexos, alternativas e critérios de decisão conflitantes são comumente observados nas mais diversas situações. A análise de decisão no contexto de múltiplos critérios, MCDA (Multi Criteria Decision Analysis), veio para auxiliar nesses cenários, fornecendo uma forma estruturada e métodos de apoio à decisão para capacitar os stakeholders (tomadores de decisão) a lidar com objetivos conflitantes em suas decisões. Vários métodos MCDA foram propostos e, dentre eles, está o PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation), que visa a construção de valor em problemas de tomada de decisão por meio da ordenação das alternativas (Montibeller & Franco, 2010).

Decisões estratégicas são ações importantes que os stakeholders de uma organização precisam tomar, com relação a diferentes aspectos. Essas ações geralmente apresentam alto nível de incerteza, diferentes opções, longas consequências e o engajamento das partes interessadas para apoiar as decisões estratégicas, os métodos MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) mostram-se como uma boa ferramenta para o tomador de decisão na concepção e seleção das opções estratégicas de alto valor (Montibeller & Franco, 2010).

Os métodos MCDA possuem abordagens consideradas eficientes para estruturar problemas relacionados à tomada de decisão. Estruturar o problema é uma das fases mais importantes, pois o sucesso das outras fases depende se a estruturação do problema foi realizada de forma adequada (Marttunen, Lienert & Belton, 2017).

3.1. Metodologia PROMETHEE II

O método PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation), desenvolvido por Brans e colaboradores (Brans et al., 1984; Brans e Vincke, 1985; Brans et al., 1986), é uma abordagem de superação (Roodposhti, Rahimi & Beglou, 2014). De acordo com os autores, o PROMETHEE pode lidar com vários critérios conflitantes e apresenta ótimos resultados na classificação e escolha entre um número limitado de um conjunto de alternativas. Ainda de acordo com os autores, a metodologia PROMETHEE foi aplicada em diversas situações de decisão, envolvendo bancos, localização industrial, planejamento de mão-de-obra, recursos hídricos, investimentos, saúde, turismo, gestão dinâmica, etc., ratificando a aplicabilidade do PROMETHEE como uma metodologia madura e bem testada que continua funcionando em muitas áreas diferentes.

O método permite somente as seguintes situações: quando a diferença entre “a” e “b” é zero, significa indiferença, quando “a” é maior que “b”, significa que “a” tem preferência em relação a “b”, quando “a” é menor que “b”, significa que “b” tem preferência em relação a “a”. O PROMETHEE tem um recurso chamado nível de preferência que reflete o quão forte ou fraca é uma preferência obtida ao comparar duas alternativas de decisão (Parreiras & Vasconcelos, 2007).

Ao utilizar o PROMETHEE II cada critério é considerado individualmente antes da agregação final que define o ranking. Cada alternativa é avaliada à luz de múltiplos critérios, com diferentes pesos e diferentes funções, onde os tomadores de decisão deverão expressar suas preferências (Doan & Smet, 2018).

No PROMETHEE I é importante comparar as importâncias dos fluxos positivos (Φ^+) e negativos (Φ^-). O primeiro fluxo representa a soma das preferências que “a” tem em relação a “b”, conforme equação 3.1 (Brans & Mareschal, 2005).

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (1)$$

O segundo fluxo, o negativo (Φ^-), representa a soma das preferências que “b” tem em relação a “a”, conforme a equação 3.2 (Brans & Mareschal, 2005).

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (2)$$

O fluxo líquido é a diferença entre os fluxos positivos e negativos e é utilizado no PROMETHEE II para prover a ordenação completa das alternativas (Brans & Mareschal, 2005). Este resultado representa a qualidades e fraquezas das alternativas analisadas (Araújo & Almeida, 2009).

Na formulação do PROMETHEE II, uma função preferência é utilizada para representar o comportamento de cada critério e, conforme os autores do método, pode ser: Usual, U-Shape, V-Shape, V-Shape com indiferença, Nível e Gaussiana (Brans & Mareschal, 2005). Sejam “a” e “b” duas ações pertencentes a um conjunto de ações A; P a função preferência; “w” o peso para cada critério “j”. O índice de agregação de preferências é dado pela equação 3.3.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) \cdot w_j \quad (3)$$

O PROMETHEE II provê uma classificação completa baseada na preferência dos pesos dos dois fluxos. Um fluxo negativo significa o quanto uma alternativa está sendo superada por outras alternativas e um fluxo positivo significa o quanto uma alternativa está superando outras alternativas (Araújo & Almeida, 2009).

3.2. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos abordando a temática de nuvem corporativa vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos anos. Estes trabalhos abordam diferentes aspectos relacionados ao tema com a utilização do método PROMETHEE para o apoio à decisão.

No artigo de Neeraj & Singh (2019) o PROMETHEE II, em conjunto com o método de ponderação Entropia de Shannon, é implementado para o problema de seleção da região geográfica da fornecedora Amazon Web Service (AWS). O provedor está instalado em vários data centers localizados em diferentes regiões, sendo o desempenho e o custo do serviço dependentes da localidade. Sendo assim, o desempenho do serviço é medido por quatro critérios: número de serviços disponíveis; número de zonas de disponibilidade; distância; e custo. O resultado do processo de seleção mostra que o PROMETHEE II proposto é eficiente para sistemas de tomada de decisão no ambiente de nuvem.

Os estudos de caso apresentados no artigos de Sidhu & Singh (2019), Sidhu e Singh (2017) e Kaveri, Gireesha, Somu, Raman & Sriram (2017) foram projetados com base em dados reais de relatórios de serviços em nuvens do website Cloud Harmony, sendo os 10 parâmetros de benchmarks extraídos e utilizados como critérios dos modelos, sendo eles: Cost on demand (Cod); Network Latency (NL); Sequential Disk Read/Write Performance Consistency (SRWpc); Random Disk Read/Write Performance Consistency (RRWdp); CPU integer performance (SPint); CPU floating point performance (SPfp); Memory Performance On Scale (MPsc); Memory Performance On Triad (MPtd); Sequential Read/Write Disk Performance (SRWpc); e Random Read/Write Disk Performance (RRWdp).

Sidhu & Singh (2019) propõem, por meio de um estudo de caso, o uso do método PROMETHEE para escolha de servidores confiáveis de banco de dados em nuvem. O método PROMETHEE é aprimorado incorporando o método AHP para decidir o

peso dos critérios de seleção. Os resultados demonstram a eficácia da técnica de seleção proposta em ambiente real de nuvem para escolha de servidores.

O estudo de caso de Sidhu & Singh (2017) apresenta uma análise comparativa de três técnicas baseadas em análise multicritério que permitem que os clientes de nuvens determinem a confiabilidade de provedores de serviços em nuvem, sendo elas o AHP, TOPSIS e PROMETHEE. Para avaliar a aplicabilidade e validade dos esquemas, foram realizadas experiências por meio de um estudo de caso envolvendo o uso de dados reais na nuvem. Resultados experimentais do desempenho de 18 servidores de banco de dados em nuvem mostram que todas as técnicas são eficazes e estáveis na diferenciação entre confiável e não confiável, mas a técnica PROMETHEE mostrou vantagem sobre os métodos AHP e TOPSIS, no sentido de que relatou menos incertezas durante as avaliações.

O artigo de Kaveri, Gireesha, Somu, Raman & Sriram (2017) apresenta o E-FPROMETHEE, uma nova abordagem de classificação de serviços baseada na Entropia de Shannon, Números Fuzzy Triangulares e PROMETHEE para a identificação de provedores confiáveis de serviços em nuvem. Os resultados do estudo de caso demonstram a eficácia e robustez da abordagem em termos das várias métricas de qualidade e análise de sensibilidade.

Boutkhoul, Hanine, Agouti & Tikniouine (2016) propõem uma metodologia de decisão baseada no Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) e no PROMETHEE para comparar, classificar e selecionar a computação em nuvem mais adequada para

acomodar e acessar big data. O FAHP foi utilizado para atribuir os pesos de importância aos critérios de avaliação, enquanto o processo PROMETHEE explorou esses critérios ponderados como entrada para avaliar e classificar as alternativas de decisão. Objetivo é permitir que os tomadores de decisão obtenham ganhos de competitividade migrando, acessando e processando seus projetos de big data usando todos os recursos e serviços da nuvem. Os critérios foram levantados por meio de um grupo formado por tomadores de decisão e da revisão da literatura, sendo eles divididos em três critérios principais: governança, continuidade de negócios e segurança. Os subcritérios de governança foram: monitoramento e nível de serviço; painel e relatórios; e possibilidade de transferir ou importar dados. Os de continuidade de negócios foram: dispêndios de capital de TI; capacidade sob demanda; garantia de alta disponibilidade; e custo de serviços. Por fim, os de segurança foram: confidencialidade; gerenciamento de incidentes; segregação; e criptografia de dados. Com base no feedback recebido dos tomadores de decisão antes e depois avaliando a validade dos resultados, a metodologia combinada funcionou muito bem para o objetivo proposto pelos autores.

O trabalho de Ben-Abdallah, Boukadi, Lloret & Hammami (2019) sugere uma abordagem de classificação de serviço em nuvem com reconhecimento de contexto, usando revisões on-line e análise de sentimentos. Essa abordagem, chamada CROSA, utiliza o método PROMETHEE II em uma das suas etapas. O estudo de caso tem como objeto uma empresa de logística de petróleo, que busca terceirizar o seu

aplicativo de compra para um ambiente em nuvem. Para selecionar um serviço em nuvem, o especialista considera as principais categorias de propriedade de serviço: responsabilidade; agilidade; garantia; financeiro; desempenho; segurança e privacidade; e usabilidade. Os resultados mostram que a abordagem CROSA pode facilitar a avaliação de serviços baseada em opinião, auxiliando os usuários finais na seleção de serviços que atendam às suas exigências e se ajustem ao seu próprio contexto.

Papathanasiou, Kostoglou & Petkos (2015) buscaram ajudar os seus alunos a selecionarem dos serviços de computação em nuvem mais apropriados para uma boa execução de seus cursos. Foram utilizadas duas metodologias multicritério, PROMETHEE e AHP, separadamente uma da outra. Os autores utilizaram as opiniões de um grupo de especialistas, formados por acadêmicos relevantes, em um workshop para implementar o AHP e o PROMETHEE. Os critérios utilizados foram: protocolos de segurança ativados; recursos de cisalhamento de arquivos; upload máximo de arquivo; espaço de armazenamento livre; sistemas operacionais suportados; e facilidade de uso. No entanto, os resultados de ambas as metodologias apresentaram serviços similares nas primeiras posições, mas as posições do meio se diferenciaram entre os dois métodos.

No artigo de Bhushan & Reddy (2016a), é proposta uma abordagem híbrida para o problema do multicritério, utilizando o AHP e o PROMETHEE. A abordagem proposta busca resolver o problema de classificação do serviço de nuvem. O AHP é usado para investigar a estrutura do problema de classificação de serviço e para determinar os pesos dos critérios de QoS, já o método PROMETHEE é aplicado para a classificação final. O modelo considera dois critérios de QoS na rede e seis fora da rede, que incluem: atraso na rede; confiabilidade da rede; tempo de resposta; taxa de transferência; disponibilidade;

suscetibilidade; preço; e reputação. Os resultados da avaliação demonstram a eficácia do método híbrido proposto, além de mostrar o impacto da QoS no ranking final dos serviços.

Bhushan & Reddy (2016b) propõem um algoritmo para selecionar as nuvens com o maior número de pacotes de serviço e aplicam o método PROMETHEE que seleciona o melhor serviço com base nos critérios de QoS, sendo eles: tempo de resposta; taxa de transferência; disponibilidade; suscetibilidade; e preço. Os resultados experimentais mostram que o algoritmo e o método fornecem os melhores serviços de QoS com um número mínimo de nuvens, avaliando benchmarks anteriores.

Toinard, Ravier, Cérin & Ngoko (2015) utilizaram o método PROMETHEE para resolver o problema de intermediação em nuvem, visando alinhar a alta prioridade à implantação segura de um serviço, com todas as outras restrições de QoS necessárias. Os critérios utilizados para classificação dos fornecedores de nuvem foram: econômico; eficiente em rede e com acordos de nível de serviço baseados em segurança. Os testes realizados mostraram que o método PROMETHEE permite um tempo de resposta curto, com um respaldo matemático definido.

4. Estudo de Caso

Escolher um provedor de serviço na nuvem não é uma tarefa fácil, seja pela oferta de provedores, pelos muitos tipos de serviços na nuvem ou pela adequação às necessidades do negócio. Esta seção apresenta o modelo proposto, com base no método PROMETHEE-II para tomada de decisão sobre a escolha da solução de nuvem mais adequada.

A solução deste problema MCDA começa com sua estruturação. Belton & Stewart (2002) propõem uma metodologia que denominam por “processo MCDA”. A fase inicial de estruturação do problema de decisão envolve explorar o problema e entender como os tomadores de decisão podem avançar. A fase de construção e uso de métodos representa o processo de extrair a essência da questão de uma representação complexa para dar suporte a avaliação de potenciais caminhos de solução. É necessário identificar as variáveis de decisão, as alternativas a serem consideradas, os critérios ou objetivos para guiar a avaliação, alguma medida da significância dos diferentes critérios.

4.1. Aplicação do PROMETHEE II

Pela revisão da literatura identificaram-se os atributos utilizados para avaliar provedores de serviços de nuvem, os quais estão listados na Tabela 1 juntamente com as referências bibliográficas origem dos trabalhos.

Autores	Critérios
Abdel-Basset, Mohamed & Chang (2018)	Escalabilidade, Adaptabilidade, Atuação, Segurança/ Privacidade e Usabilidade
Raut, Gardas, Jha & Priyadarshinee (2017).	Confiabilidade, Elasticidade, Adaptabilidade, Segurança/Privacidade e Usabilidade
Ogunrinde, Jusoh, Pa, Rahman, Nurhayat & Abdullah (2016); Somu, Kirthivasan & Sriram (2017); e Yadav & Goraya (2018)	Garantia, Custo, Agilidade, Atuação, Auditoria, Segurança/Privacidade e Usabilidade

Autores	CrITÉrios
Paunović, Ralević, Gajović, Vojinović & Milutinović (2018)	SLA, Estabilidade, Atuação e Segurança/Privacidade
Gesvindr & Buhnova (2016)	Disponibilidade, Elasticidade, Escalabilidade, Taxa de transferência e Tempo de resposta
Kumar, Mishra & Kumar (2017)	Estabilidade, Confiabilidade, Disponibilidade, Custo, Escalabilidade, Adaptabilidade, Portabilidade, Taxa de transferência, Tempo de resposta, Auditoria, Segurança/Privacidade e Usabilidade
Neeraj & Singh (2019)	Disponibilidade e Custo
Sidhu & Singh (2019); Sidhu & Singh (2017); e Kaveri, Gireesha, Somu, Raman & Sriram (2017)	Disponibilidade, Custo, Agilidade, Atuação, Taxa de transferência e Tempo de Resposta
Boutkhoul, Hanine, Agouti & Tikniouine (2016)	Garantia, SLA, Confiabilidade, Disponibilidade, Custo, Escalabilidade, Atuação, Taxa de transferência, Tempo de resposta, Auditoria e Segurança/ Privacidade
Papathanasiou, Kostoglou & Petkos (2015)	Escalabilidade, Segurança/Privacidade e Usabilidade
Bhushan & Reddy (2016a); e Bhushan & Reddy (2016b)	Custo, Adaptabilidade, Atuação, Taxa de transferência e Tempo de resposta
Ben-Abdallah, Boukadi, Lloret & Hammami (2019)	Garantia, Confiabilidade, Custo, Agilidade, Atuação e Usabilidade
Toinard, Ravier, Cérin & Ngoko (2015)	Custo, Atuação, SLA e Segurança/Privacidade

Tabela 1 – Relação dos principais atributos encontrados em pesquisas no estado da arte.

Este estudo tem por objetivo comparar três provedores de serviço na nuvem reais, utilizando atributos relevantes, os quais são resultado da análise apresentada na Tabela 1. O propósito é mostrar como o modelo proposto poderia ser aplicado e como ele pode ajudar tomadores de decisão.

A avaliações foram realizadas em computadores de entrada de provedores de serviço em nuvem, os computadores possuíam 2 CPUs, 8 Gigabytes de RAM, 125 Gigabytes de HD e Windows Server 2008 R2.

A função de preferência usual do PROMETHEE II foi definida para representar o comportamento dos critérios. Esta função não considera parâmetros de preferência e de indiferença. Isso significa que vencerá aquele que melhor satisfizer a condição do máximo ou mínimo valor para cada critério ou subcritério.

A Tabela 2 apresenta os critérios definidos para de avaliação das alternativas de decisão, os provedores A, B e C.

Critério	Provedor A	Provedor B	Provedor C
Garantia	99,90%	99,99%	99,99%
Custo	R\$ 0,34	R\$ 0,45	R\$ 0,58
Agilidade	7	4	0,5

Critério	Provedor A	Provedor B	Provedor C
Performance	12,70	7,68	7,50
Taxa de transferência	3	5	4
Auditoria	7	6	7
Segurança e privacidade	8	8	8
Usabilidade	7	7	8

Tabela 2 – Avaliação dos provedores de serviço de nuvem

Na Tabela 2 todos os atributos incluindo os subjetivos foram avaliados com valores entre zero e dez, exceto garantia, performance, agilidade e taxa de transferência, a qual é calculada em gigabit por segundo, garantia é calculada em percentual, performance é calculada em Gigaflops por segundo, agilidade é calculada em minutos e custo é calculado em reais (R\$) por hora.

A descrição dos critérios utilizados neste trabalho está apresentada na Tabela 3.

Crítérios	Descrição
Garantia	Obtida com base no SLA (<i>Service Level Agreement</i>) do provedor de serviço.
Custo	Obtida com base no custo por hora para manter a infraestrutura de TI
Agilidade	Obtida com base no tempo para criar e conseguir utilizar as máquinas virtuais.
Performance	Obtida utilizando-se o software de benchmark de infraestrutura Geekbench (http://www.primatelabs.com/geekbench) [3].
Taxa de transferência	Obtida do provedor de serviço.
Auditoria	Classificada pelos pesquisadores durante a avaliação dos provedores de serviço na nuvem.
Segurança e privacidade	Classificada pelos pesquisadores durante a avaliação dos provedores de serviço na nuvem. É importante mencionar que os três provedores de serviço na nuvem têm quase as mesmas soluções de segurança de terceiros disponíveis para seus clientes.
Usabilidade	Classificada pelos pesquisadores durante a avaliação dos provedores de serviço na nuvem.

Tabela 3 – Descrição dos critérios utilizados.

Para fazer a ordenação dos provedores de serviço na nuvem foram calculados os fluxos de acordo com o PROMETHEE II, conforme apresentado na Tabela 4.

De acordo com a Tabela 4, o provedor de serviço na nuvem C é a melhor escolha segundo os critérios definidos para avaliação, o provedor B é a segundo melhor escolha e a última escolha é o provedor A.

Classificação	Provedor	Phi	Phi+	Phi-
1	C	0,3021	0,5104	0,2083
2	B	0,0313	0,3646	0,3333
3	A	-0,3333	0,2083	0,5417

Tabela 4 – Tabela de fluxos líquido, positivo e negativo do PROMETHEE II

Este estudo mostra que o resultado encontrado com o método PROMETHEE II para auxiliar tomadores de decisão em sua tarefa de escolher o melhor provedor de serviço na nuvem foi satisfatório. O conjunto de critérios definidos proveu uma perspectiva de qualidade e, conforme cenário apresentado, o provedor de serviço na nuvem C foi classificado como a melhor opção.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Computação em nuvem é uma área eminentemente desafiadora, mostra boa aceitação do mercado e tende a permanecer em uso por um longo período. Com o passar do tempo a computação em nuvem proverá serviços de fácil utilização e economia de recursos para empresas de pequeno até grande porte.

O cenário atual apresenta um grande desafio para as organizações na tarefa de escolher o melhor provedor de serviço na nuvem que atenda suas necessidades. Este estudo propôs a realização da escolha de provedor de serviço na nuvem utilizando o método PROMETHEE II.

Neste trabalho foi possível ordenar provedores e escolher o melhor provedor de serviço na nuvem baseando-se na avaliação de um conjunto de critérios e subcritérios relevantes como objetivos de desempenho esperado. Os critérios selecionados para a escolha do provedor refletem a qualidade e desempenho esperado e são fruto de uma pesquisa bibliográfica consistente.

A estruturação do problema e identificação das variáveis de decisão são etapas que proporcionam grande aprendizado para os decisores envolvidos. O resultado encontrado ratifica a importância do modelo proposto e se mostra coerente com a proposta apresentada.

Trabalhos futuros poderiam envolver pesquisas sobre subcritérios que possam ser utilizados nas áreas de segurança da informação e privacidade na nuvem computacional. Este modelo apresentado pode ser adaptado para ser utilizado na área de segurança de informação que, devido à sua complexidade, demanda modelos de decisão que apoiem os stakeholders.

Referências

Abdel-Basset, M., Mohamed, M. & Chang, V. (2018). NMCD: A framework for evaluating cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 86, 12- 29. doi: 10.1016/j.future.2018.03.014.

- Araújo, A. G. & Almeida, A. T. de. (2009). Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. *Gestão & Produção*, 16(4), 534-543. doi: 10.1590/S0104-530X2009000400004.
- Bhushan, S. B., & Reddy, C. P. (2016a). A Network QoS Aware Service Ranking Using Hybrid AHP-PROMETHEE Method in Multi-Cloud Domain. In *International Journal of Engineering Research in Africa*, 24, 153-164. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.24.153.
- Bhushan, S. B. & Reddy, C. P. (2016b). A Qos aware cloud service composition algorithm for geo-distributed multi cloud domain. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 9(4), 147-156. doi: 10.22266/ijies2016.1231.16.
- Bojanova, I., Zhang, J. & Voas, J. (2013). Cloud Computing. *IEEE*, 15(2), 12-14. doi: 10.1109/MITP.2013.26.
- Boutkhoul, O., Hanine, M., Agouti, T. & Tikniouine, A. (2016). Selection problem of cloud solution for big data accessing fuzzy AHP-PROMETHEE as a proposed methodology. *Journal of Digital Information Management*, 14(6).
- Dino (2017). Como a computação na nuvem tornou-se imprescindível. Retrieved from <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/como-a-computacao-na-nuvem-tornou-se-imprescindivel>.
- Doan, N. A. V. & Smet, Y. De. (2018). An alternative weight sensitivity analysis for PROMETHEE II rankings. *Omega*, 80, 166-174. doi: 10.1016/j.omega.2017.08.017.
- Gesvindr, D. & Buhnova, B. (2016). Performance challenges, current bad practices, and hints in paas cloud application design. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 43(4), 3-12. doi: 10.1145/2897356.2897358.
- Kaveri, B. A., Gireesha, O., Somu, N., Raman, M. G., & Sriram, V. S. (2017). E-FPROMETHEE: An entropy based fuzzy multi criteria decision making service ranking approach for cloud service selection. In *International Conference on Intelligent Information Technologies*, 224-238. doi: 10.1007/978-981-10-7635-0_17.
- Kumar, R. R., Mishra, S. & Kumar, C. (2017). Prioritizing the solution of cloud service selection using integrated MCDM methods under Fuzzy environment. *The Journal of Supercomputing*, 73(11), 4652-4682. doi: 10.1007/s11227-017-2039-1.
- Lewis, G. A. (2017). Cloud Computing: Technologies and market players will change over time, but the bottom line is that cloud computing is here to stay. *IEEE Computer Society*, 50, 8-9. doi: 10.1109/MC.2017.141.
- Marttunen, M., Lienert, J. & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1-17. doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.041.
- Mell, P. & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. Retrieved from <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>.

- Montibeller, G. & Franco, A. (2010). Multi-criteria decision analysis for strategic decision making. *Handbook of Multicriteria Analysis*, 1, 25-48. doi: 10.1007/978-3-540-92828-7_2.
- Neeraj, M. S. G., & Singh, D. (2019). A Ranking Based Model for Selecting Optimum Cloud Geographical Region. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 793-797. doi: 10.35940/ijitee.J8908.0881019.
- Newmark. (2018). IDC FutureScape: Worldwide Cloud 2018 Predictions. Retrieved from <https://www.sap.com/documents/2017/11/4493704d-de7c-0010-82c7-ed71af511Fa.html>.
- Ogunrinde, R. R., Jusoh, Y. Y., Pa, N. C., Rahman, W. A., Nurhayati, W. & Abdullah, A. (2016). Cloud enterprise resource planning selection model for small and medium enterprises. *Advanced Science Letters*, 22(8), 1939-1943. doi: 10.1166/asl.2016.7768.
- Papathanasiou, J., Kostoglou, V. & Petkos, D. (2015). A comparative analysis of cloud computing services using multicriteria decision analysis methodologies. *International Journal of Information and Decision Sciences*, 7(1), 51-70. doi: 10.1504/IJIDS.2015.068117.
- Parreiras, R. O. & Vasconcelos, J. A. (2007). A multiplicative version of Promethee II applied to multiobjective optimization problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 729-740. doi:10.1016/j.ejor.2006.10.002.
- Paunović, M., Ralević, N. M., Gajović, V., Vojinović, B. M. & Milutinović, O. (2018). Two-Stage Fuzzy Logic Model for Cloud Service Supplier Selection and Evaluation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. doi: 10.1155/2018/7283127.
- Raut, R. D., Gardas, B. B., Jha, M. K. & Priyadarshinee, P. (2017). Examining the critical success factors of cloud computing adoption in the MSMEs by using ISM model. *The Journal of High Technology Management Research*, 28(2), 125-141. doi: 10.1016/j.hitech.2017.10.004.
- Roodposhti, M. S., Rahimi, S. & Beglou, M. J. (2014). PROMETHEE II and fuzzy AHP: an enhanced GIS-based landslide susceptibility mapping. *Natural Hazards*, 73(1), 77-95. doi: 10.1007/s11069-012-0523-8.
- Sidhu, J. & Singh, S. (2017). Design and comparative analysis of MCDM-based multi-dimensional trust evaluation schemes for determining trustworthiness of cloud service providers. *Journal of Grid Computing*, 15(2), 197-218. doi: 10.1007/s10723-017-9396-0.
- Sidhu, J. & Singh, S. (2019). Using the improved PROMETHEE for selection of trustworthy cloud database servers. *International Arab Journal of Information Technology*, 16(2), 194-202.
- Somu, N., Kirthivasan, K. & Sriram, V. S. S. (2017). A computational model for ranking cloud service providers using hypergraph-based techniques. *Future Generation Computer Systems*, 68, 14-30. doi: 10.1016/j.future.2016.08.014.

- Toinard, C., Ravier, T., Cérin, C. & Ngoko, Y. (2015). The Promethee Method for Cloud Brokering with Trust and Assurance Criteria. *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop*, 1109-1118). doi: 10.1109/IPDPSW.2015.63.
- Yadav, N. & Goraya, M. S. (2018). Two-way ranking based service mapping in cloud environment. *Future Generation Computer Systems*, 81, 53-66. doi: 10.1016/j.future.2017.11.027.
- Yang, Y., Liu, R., Chen, Y., Li, T. & Tang, Y. (2018). Normal Cloud Model-Based Algorithm for Multi-Attribute Trusted Cloud Service Selection. *IEEE Access*, 6, 37644-37652. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2850050.
- Yazir, Y. O., Guitouni, A. Neville, S. W. & Farahbod, R. (2018). IMPROMPTU: A Reactive and Distributed Resource Consolidation Manager for Clouds. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(5), 1-37. doi: 10.1142/S0219622018500487.

Creencias de ineficacia, fatiga y ansiedad computacional: un estudio exploratorio en secretarias de oficina

Cristian Salazar-Concha¹, Roberto Parra-Arias¹, Luis Olivera-Ampuerto¹, Luis J. Camacho², Patricio Ramirez-Correa³

cristiansalazar@uach.cl, roberto.parra01@alumnos.uach.cl, luis.olivera@alumnos.uach.cl, luis.camacho@esc.edu, patricio.ramirez@ucn.cl

¹ Universidad Austral de Chile, Independencia 631, 5110566, Valdivia, Chile.

² SUNY Empire State College, Two Union Avenue, Saratoga Springs, 12866, New York, EE. UU.

³ Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, 1781421, Coquimbo, Chile.

Pages: 258–271

Resumen: El objetivo de este trabajo es explorar el efecto de las creencias de ineficacia computacional sobre los niveles de ansiedad y fatiga computacional en secretarias. El estudio utilizó datos de una muestra de secretarias de una universidad chilena y su análisis se realizó con modelos de ecuaciones estructurales basados en la varianza. Según los resultados del análisis, las creencias de ineficacia computacional tienen efectos positivos directos sobre los niveles de ansiedad computacional y sobre los niveles de fatiga computacional. Desde una perspectiva práctica, los hallazgos de este estudio compelen a los directivos a diseñar programas de capacitación que aumenten la autoeficacia computacional de su personal administrativo, disminuyendo riesgos psicosociales y tensiones asociadas con la ansiedad y la fatiga computacional.

Palabras-clave: Riesgos psicosociales, ineficacia computacional, ansiedad computacional, fatiga computacional, PLSc.

Inefficiency beliefs, computational fatigue, and computational anxiety: an exploratory study in office secretaries

Abstract: The objective of this work is to explore the effect of beliefs of computational inefficacy on the levels of computational anxiety and computational fatigue in secretaries. The study used data from a sample of secretaries of a Chilean university and the analysis with models of structural equations based on variance. According to the results of the analysis, the beliefs of computational inefficacy have direct positive effects on the levels of computational anxiety, and the levels of computational fatigue. From a practical perspective, the findings of this study compel managers to design training programs that increase the computational self-efficacy of their administrative staff, reducing psychosocial risks and tensions associated with computational anxiety and computational fatigue.

Keywords: psychosocial risks, computational inefficacy, computational anxiety, computational fatigue, PLSc.

1. Introducción

Las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) se han introducido en la mayoría de los sectores productivos y en prácticamente todas las áreas funcionales de las organizaciones (Salanova, 2003), convirtiéndose en una parte indispensable de muchos aspectos de las empresas (Rajput, Gupta, Kesharwani, & Ralli, 2011), generando distintos beneficios, tales como la reducción de costos operativos, la optimización de la mano de obra, la eficiencia de los procesos (Brynjolfsson & Hitt, 2000) y el incremento de la productividad (Tarafdar, Tu, Ragu-Nathan, & Ragu-Nathan, 2007). En particular, en los entornos laborales la utilización de las TIC permite a los trabajadores acceder a información en tiempo real y compartir información en cualquier momento y en cualquier lugar (Popescu, Ilie, & Bondac, 2018). Por lo anterior, no hay duda de que la incorporación de las TIC genera grandes beneficios a las organizaciones, sin embargo, aunque la tecnología es por sí misma neutra, es decir, no genera efectos ni positivos ni negativos en los individuos (Salanova, 2003), su ritmo de cambio ha agregado nuevas condiciones para los trabajadores, quienes deben afrontar las nuevas exigencias haciendo uso de sus capacidades, las que muchas veces se ven rebasadas y culminan en un agotamiento profesional (Gallardo & De León, 2010). El estudio de las reacciones afectivas derivadas de la adopción y del uso de las TIC está ganando terreno en la disciplina de sistemas de información (Agogo & Hess, 2018). Este estudio se propone explorar una arista de este fenómeno.

Las nuevas demandas asociadas con el uso de las TIC en los ambientes laborales surgen de elementos como dedicar más tiempo en capacitaciones para utilizar nuevas TIC, sacrificar tiempo de trabajo y familiar para hacer frente a los requerimientos de conectividad constante, como por ejemplo lidiar con una mayor sobrecarga de información y de uso de TIC que implican las nuevas tareas y con la complejidad de las nuevas TIC (Brillart, 2004; Tarafdar et al., 2007; Shu, Tu, & Wang, 2011). El trabajo apoyado por los computadores a menudo requiere una mayor carga de trabajo cognitivo de los usuarios, la cual es acentuada por las carencias en la usabilidad de las TIC (Sellberg & Susi, 2014), pudiendo generar en los usuarios altos niveles de activación fisiológica no placentera como la ansiedad y la fatiga computacional, valorando de forma negativa la utilización de la informática y no creyéndose suficientemente capaces para manejar las TIC (Salanova, Llorens, & Cifre, 2007).

La ansiedad y la fatiga computacional son variables afectivas que hacen referencia a las emociones que experimentan las personas cuando usan las TIC como una herramienta habitual de trabajo y se asocian con menor bienestar psicosocial, con actitudes negativas hacia las TIC, con creencias de eficacia, autoeficacia profesional y *burnout* (Schiffman, Edelman, Falkenstein, & Stewart, 2010; Jiménez, 2010; Llorens et al., 2011; Riedl, Kindermann, Auinger, & Javor, 2012; Sonentag & Frese, 2013; Galluch, Grover, & Thatcher, 2015; Brooks, 2015). La ansiedad computacional lleva a tener actitudes escépticas respecto al uso de las TIC y pensamientos negativos sobre la propia capacidad y competencia con el uso de ellas (Salanova et al., 2007; Llorens, Salanova, &

Ventura, 2011). La fatiga computacional, se caracteriza por sentimientos de cansancio, dificultades para memorizar y recordar, agotamiento mental y cognitivo debido al uso de las TIC, generando una sensación de pérdida de control afectando negativamente su estado psicológico, causando en los trabajadores, por ejemplo, actitudes escépticas y creencias de ineficacia en el uso de las TIC (Ragu-Nathan, Tarafdar, Ragu-Nathan, & Tu, 2008; Llorens et al., 2011; Salanova, Llorens, & Ventura, 2014; Lee, Son, & Kim, 2016).

Considerando lo anterior, es importante que la introducción de las TIC en una organización tenga en cuenta las demandas laborales (aspectos físicos, sociales y psicosociales), contrarrestados por los recursos laborales (autonomía y apoyo) y personales (características de la personalidad del trabajador) (Salanova, 2005). De hecho, los recursos personales, como las propias competencias mentales y las creencias de autoeficacia computacional pueden ayudar a inhibir las experiencias negativas asociadas al uso de las TIC (Salanova, Llorens, & Cifre, 2007). Dentro de esta dimensión individual, la autoeficacia computacional, comprendida como la creencia de que uno tiene las competencias para usar la computadora para la realización de una tarea (Bandura, 1982; Compeau & Higgins, 1995; Tarafdar, Bolman, & Ragu-Nathan, 2015) ha demostrado su importancia, tanto en la mejora de la motivación en el uso de las TIC como en la moderación de los niveles de agotamiento laboral y la ansiedad relacionada con su uso (Salanova et al., 2014).

Los efectos del uso de las TIC en los trabajadores dependen en gran medida de la percepción de los individuos y de cómo dicha percepción amplía o reduce la brecha entre el individuo y su ambiente (Ayyagari, Grover, & Purvis, 2011). Dentro del espectro laboral, las secretarías no están ajenas a experimentar emociones asociadas con el uso de las TIC. Por ejemplo, Tarafdar, Tu, Ragu-Nathan, & Ragu-Nathan (2011) señalan cómo la falta de mecanismos de apoyo para lidiar con la multiplicidad de características tecnológicas de una aplicación de gestión de estudiantes, generó en una secretaria universitaria tensión asociada con la fatiga, decidiendo finalmente jubilarse. En este sentido, uno de los factores estresantes en el trabajo de las secretarías y que puede derivar en sentimientos de fatiga y ansiedad computacional producidos por una falta de eficiencia en el uso de los ordenadores, se relaciona con las características de usabilidad (facilidad de uso, complejidad y fiabilidad) de las TIC (Weil & Rosen, 1997; Ayyagari et al., 2011). Sellberg & Susi (2014) desarrollaron un trabajo de campo acompañando a una secretaria en su día laboral, detectando claros indicios de falta de usabilidad de las TIC, encontrando por ejemplo, que la búsqueda de información y el uso de códigos de teclado en el teléfono generaba en la secretaria la preferencia del papel por sobre programas computacionales, lo que provocaba problemas de sincronización en la información.

En este contexto, este estudio tiene por objetivo explorar el efecto de las creencias de ineficacia en el uso de las TIC sobre los niveles de ansiedad y fatiga computacional en secretarías de oficina.

2. Modelo de investigación e hipótesis

Según Pinedo-Cantillo & Yañez-Canal (2017), la literatura contemporánea ha explicado las emociones como procesos cognitivos, ver Lazarus (1991), Solomon (2003) o Nussbaum (2008). En este sentido, la teoría cognitiva de la emoción entiende que la activación

de una respuesta emocional está vinculada a los procesos de valoración (Lazarus & Lazarus, 1996), y que incluye algún aspecto del pensamiento, usualmente una creencia o un juicio, como un componente necesario para la reacción emocional. En la línea de la idea anterior, el modelo propuesto en la Figura 1 sugiere que las dimensiones cognitivas (ineficacia computacional percibida) afectan positivamente los niveles de las variables afectivas (fatiga y ansiedad computacional). La Tabla1 presenta las definiciones de los constructos del modelo.

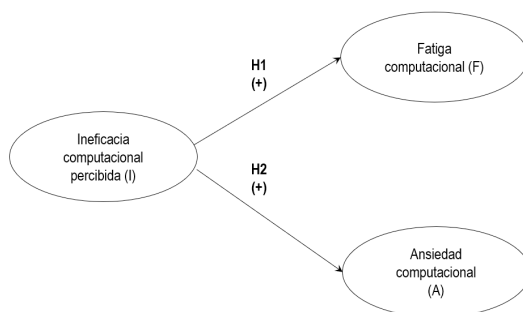


Figura 1 – Modelo de investigación

Constructo	Definición
<i>Ineficacia computacional percibida</i>	Pensamientos negativos sobre la propia capacidad para utilizar la tecnología con éxito (Llorens et al., 2011).
<i>Fatiga computacional</i>	Cansancio y agotamiento mental y cognitivo producido por el uso de las TIC (Llorens et al., 2011).
<i>Ansiedad computacional</i>	Presencia de altos niveles de activación fisiológica no placentera, y sentimientos de tensión y malestar por el uso presente o futuro de algún tipo de TIC (Salanova et al., 2007).

Tabla 1 – Constructos del modelo de investigación

2.1. Ineficacia computacional percibida

La ineficacia computacional percibida son los pensamientos negativos sobre la propia capacidad para utilizar la tecnología con éxito. Los sentimientos de ineficacia o autoeficacia negativa son provocados por experiencias de fracaso o falta de dominio en el uso de las TIC (Salanova, 2003; Llorens et al., 2011). Cuando los usuarios de las TIC tienen que hacer frente a las demandas crónicas y abrumadoras que contribuyen a la ansiedad, la fatiga y el escepticismo, es muy probable que se reduzca su sentido de eficacia (Berger, Romeo, Gidion, & Poyato, 2016).

Shu et al. (2011) reportaron que los empleados con una alta dependencia tecnológica o una menor autoeficacia computacional reportaban mayores niveles de estrés asociado al uso de TIC o tecnoestrés, no obstante, quienes poseían una mayor autoeficacia en el uso de las TIC mitigaban los efectos de lidiar con la complejidad de las nuevas tecnologías y de sentirse amenazados y temerosos de ser reemplazados por estas tecnologías.

2.2. Relación entre ineficacia computacional percibida y fatiga computacional

Este estudio conceptualiza la fatiga computacional como una sensación subjetiva y autovalorada de cansancio por el uso de las TIC. Este tipo de fatiga se caracteriza por sentimientos de cansancio, agotamiento mental y cognitivo debido al uso de las TIC, con actitudes escépticas y creencias de ineficacia relacionadas con su uso (Llorens et al., 2011). Cuando los empleados están expuestos a más información que su tiempo o capacidad de manejar y usar se produce una carga cognitiva (Karr-Wisniewski & Lu, 2010). La sobrecarga de información que proviene de distintas fuentes como, por ejemplo, internet, correos electrónicos, smartphones, tablets, redes sociales, etc., pueden llevar a una toma de decisiones deficiente, a una dificultad para memorizar y recordar y a una capacidad de atención reducida (Berger et al., 2016). Una sintomatología de la fatiga es la falta de competencia para estructurar y asimilar la nueva información derivada del uso de Internet, con la consiguiente aparición del cansancio mental (Salanova et al., 2007; Llorens et al., 2011). Leiter (1992) y Lee & Ashforth (1996) reportaron que la eficiencia profesional es independiente del cinismo y del agotamiento o fatiga. La fatiga computacional, caracterizada por sentimientos de cansancio mental que afecta negativamente el estado psicológico de los individuos genera actitudes escépticas y creencias de ineficacia con el uso de las TIC (Ragu-Nathan, Tarafdar, Ragu-Nathan, & Tu, 2008; Llorens et al., 2011; Salanova, Llorens, & Ventura, 2014; Lee, Son, & Kim, 2016). De acuerdo con Salanova (2003), los usuarios de TIC pueden sentirse agotados por su uso, manifestando actitudes cínicas con respecto a su utilidad para el desarrollo de su trabajo y sintiéndose incompetentes en el uso de las TIC. De acuerdo con los argumentos anteriores, se propone la siguiente hipótesis:

H1: Un aumento en la ineficacia computacional percibida explica un aumento en la fatiga computacional.

2.2. Relación entre ineficacia computacional percibida y ansiedad computacional

La ansiedad computacional se relaciona con altos niveles de activación fisiológica no placentera, con sentimientos de tensión y malestar por el uso presente o futuro de algún tipo de TIC (Llorens et al., 2011). La ansiedad computacional implica una respuesta más afectiva, en donde la resistencia y la evitación de la tecnología informática son una función del miedo, de la aprehensión, de la intimidación y la hostilidad (Heinssen, Glass, & Knight, 1987). La ansiedad computacional también se describe como un miedo emocional de posibles resultados negativos cuando se usan las computadoras, de verse estúpido al usarlas o por miedo a dañar los equipos (Chua, Chen, & Wong, 1999). El término se ha utilizado para describir el miedo, la aprehensión y la agitación que experimentan los usuarios cuando interactúan o piensan en las computadoras. En consecuencia, la ansiedad lleva a tener actitudes escépticas respecto al uso de las TIC y pensamientos negativos sobre la propia capacidad y competencia con su uso (Salanova et al., 2007; Llorens et al., 2011). De acuerdo con Heinssen et al. (1987), la ansiedad computacional no debe confundirse con actitudes negativas hacia las computadoras que implican creencias y sentimientos de las personas sobre el impacto de las computadoras en la sociedad y la calidad de vida, en lugar de la reacción emocional hacia el uso de ellas. Tampoco debe ser confundida con tecnoestrés, el cual es causado por diversos

tecnoestresores. La ansiedad computacional es uno de los muchos efectos del tecnoestrés. Por ejemplo, un alto grado de ansiedad computacional está relacionada negativamente con el aprendizaje de habilidades informáticas (Marcoulides, 1989), con la resistencia al uso de computadoras y con la disminución de recursos cognitivos para la ejecución de diversas tareas (Heinssen et al., 1987). La investigación sobre los efectos de la experiencia del uso de las TIC en el desarrollo de tecnoestrés ha mostrado resultados consistentes, corroborándose que una mayor experiencia reduce los niveles de ansiedad relacionadas con su uso (Picon, Toledo, & Navarro, 2016). Con base en los argumentos anteriores, se propone la siguiente hipótesis:

H2: Un aumento en ineficacia computacional percibida explica un aumento en la ansiedad computacional.

3. Metodología del estudio empírico

3.1. Muestra

Variable demográfica	Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
<i>Nivel de Educación</i>	Educación Media	30	28,0
	Universitaria incompleta	21	19,6
	Universitaria	16	15,0
	Secretaría titulada	40	37,4
<i>Edad</i>	30 o menos	5	4,7
	31 a 40	30	28,0
	41 a 50	25	23,4
	51 a 60	35	32,7
	Más de 61	12	11,2
<i>Estado Civil</i>	Soltera	39	36,4
	Casada	40	37,4
	Separada/divorciada	21	19,6
	Viuda	7	6,5
<i>Años de experiencia laboral</i>	1 a 5	13	12,1
	6 a 10	25	23,4
	11 a 15	12	11,2
	16 a 20	10	9,3
	21 o más	47	43,9
<i>Lugar de trabajo</i>	Decanatura	11	10,3
	Escuela	49	45,8
	Instituto	40	37,4
	Laboratorio	7	6,5
<i>Jornada de trabajo</i>	22 horas semanales	4	3,7
	44 horas semanales	102	95,3
	33 horas semanales	1	0,9

Tabla 2 – Descripción de la muestra

Para la realización de este estudio se encuestó a una muestra no probabilística de 107 secretarías pertenecientes a una universidad chilena. Se visitó a cada secretaria en su

puesto de trabajo y se le explicaron los objetivos del estudio, indicando que la participación era de carácter voluntaria y no incluía ningún tipo de gratificación en especies ni en dinero. Además, se le indicaron los resguardos sobre el tratamiento y confidencialidad de los datos. Luego de contar con su aceptación, se entregó el instrumento de consulta para ser respondido de manera autoadministrada. Finalmente, se programó una fecha para ser retirado. El periodo del estudio fue entre diciembre del 2018 y enero del 2019.

La Tabla 2 muestra las características demográficas de las participantes. Con respecto a los niveles de educación, el 65,4% posee estudios de enseñanza media concluidos y de secretariado técnico profesional y en menor cuantía quienes han realizado estudios universitarios (34,6%). En relación con la edad, un 32,7% tiene menos de 40 años, un 23,4% entre 41 a 50 y un 43,9% tiene más de 51 años. Con respecto al estado civil, un 37,4% está casada y un 62,6% no tiene vínculos matrimoniales. El 49,3% tiene más de 21 años trabajando en la institución y un 35,5% menos de 10 años de experiencia laboral en la universidad. En el área de desempeño, destacan con un 45,8% quienes trabajan como secretarías de escuela, cargo en donde tienen mayor contacto con estudiantes y un 37,4% como secretarías de unidades académicas en donde tienen un mayor contacto con académicos. El 95,3% de la muestra tiene un contrato de trabajo equivalente a 44 horas semanales, el resto contrato de media jornada (3,7%) y $\frac{3}{4}$ de jornada (0,9%).

3.2. Instrumentos de medida

Las participantes indicaron sus acuerdos con un conjunto de declaraciones usando una escala de tipo Likert de siete puntos que varió de (1) “totalmente en desacuerdo” a (7) “totalmente de acuerdo”. Todas las medidas mostraron un buen nivel de confiabilidad. Las variables ineficacia computacional percibida, ansiedad computacional y fatiga computacional se construyeron utilizando 12 ítems válidos del cuestionario RED-Tecnoestrés (RED-Tecnoestrés: Salanova et al., 2007).

La variable ineficacia computacional, se manifiesta por pensamientos negativos sobre la propia capacidad para utilizar la tecnología con éxito. Está compuesta por 4 ítems. Un ejemplo de este tipo de ítems sería: “I4: Estoy inseguro/a de acabar bien mis tareas cuando utilizo las TIC”. La variable fatiga computacional, se manifiesta por sentimientos de cansancio, agotamiento mental y cognitivo debido al uso de las TIC, con actitudes escépticas y creencias de ineficacia asociadas con su uso. Está compuesta por 4 ítems. Un ejemplo de este tipo de ítems sería: “F3: Estoy tan cansado/a cuando acabo de trabajar con TIC que no puedo hacer nada más”. La variable ansiedad computacional, se manifiesta con altos niveles de activación fisiológica no placentera, con sentimientos de tensión y malestar por el uso presente o futuro de algún tipo de TIC. Está compuesta por 4 ítems. Un ejemplo de este tipo de ítems sería: “A1: Me siento tenso/a y ansioso/a al trabajar con TIC”.

Antes de aplicar la encuesta, se solicitó a dos profesionales académicos que evaluaran la validez del contenido y realizaran aportes para mejorar su legibilidad y comprensión del cuestionario. Luego de incorporar las mejoras, se realizó una prueba piloto con tres secretarías para confirmar la comprensión de las preguntas y garantizar que el cuestionario pudiera completarse dentro del plazo estipulado.

3.3. Análisis de datos

Este estudio aplicó PLS-SEM a través de *SmartPLS* v.3.2.8 para probar el modelo de investigación. PLS-SEM, a diferencia de las técnicas SEM basadas en covarianzas, está diseñado para maximizar la varianza explicada (R^2) de las variables latentes, teniendo como objetivo clave predecir las construcciones objetivo (Hair, Sarstedt, Ringle, & Mena, 2012). En particular, y dada las características de medida de las variables del modelo, se utilizó PLS consistente (PLSc) (Dijkstra & Henseler, 2015).

4. Resultados

4.1. Análisis del modelo de medida

Variables e indicadores		A	F	I
Ansiedad (A)	Fiabilidad compuesta	0,84		
	Varianza extraída media	0,56		
	A1 Me siento tenso/a y ansioso/a al trabajar con TIC	0,78	0,68	0,66
	A2 Me asusta pensar que puedo destruir una gran cantidad de información por el uso inadecuado de las TIC	0,72	0,34	0,61
	A3 Dudo a la hora de utilizar TIC por miedo a cometer errores	0,76	0,36	0,64
	A4 El trabajar con TIC me hace sentir incómodo/a, irritable e impaciente	0,74	0,48	0,62
Fatiga (F)	HTMT	0,62		
	Fiabilidad compuesta	0,84		
	Varianza extraída media	0,58		
	F1 Me resulta difícil relajarme después de un día de trabajo utilizando TIC	0,36	0,62	0,31
	F2 Cuando termino de trabajar con TIC, me siento agotado/a	0,47	0,70	0,35
	F3 Estoy tan cansado/a cuando acabo trabajar con TIC que no puedo hacer nada más	0,57	0,94	0,47
	F4 Es difícil concentrarme después de trabajar con TIC	0,49	0,75	0,37
Ineficacia (I)	HTMT	0,84	0,50	
	Fiabilidad compuesta	0,81		
	Varianza extraída media	0,52		
	I1 En mi opinión, soy ineficaz utilizando TIC	0,55	0,27	0,62
	I2 Es difícil trabajar con TIC	0,72	0,39	0,84
	I3 La gente dice que soy ineficaz utilizando TIC	0,64	0,42	0,78
	I4 Estoy inseguro/a de acabar bien mis tareas cuando utilizo las TIC	0,50	0,35	0,63

Tabla 3 – Fiabilidad compuesta, varianza extraída media, HTMT, cargas cruzadas de indicadores

Como primer paso del análisis se evaluó la fiabilidad y validez del modelo. La Tabla 3 muestra la evaluación del modelo de medida luego de la depuración de las escalas. Estos resultados permiten soportar tanto la fiabilidad individual de los indicadores, dado que todas sus cargas superan 0,5, como la fiabilidad de cada constructo y dado que su fiabilidad

compuesta supera el umbral de 0,8. Por otra parte, se soporta la validez convergente en el modelo, pues la varianza extraída media (AVE) para todos los constructos es mayor a 0,5 y también su validez discriminante, pues los ratios Heterotrait-Monotrait (HTMT) de la correlaciones entre los constructos son menores de 0,9.

4.2. Análisis del modelo estructural

Luego del análisis del modelo de medida se evaluó el modelo estructural. La significación estadística asociada a los coeficientes beta se estableció con el procedimiento *bootstrapping* consistente de 5.000 muestras. La Tabla 4 y Figura 2 presentan los resultados de este análisis.

Camino	Valor (sig.)
Ineficacia -> Fatiga	0,50 (0,000)
Ineficacia -> Ansiedad	0,84 (0,000)
R² Fatiga	0,25
R² Ansiedad	0,71

Tabla 4 – Coeficientes beta y de determinación

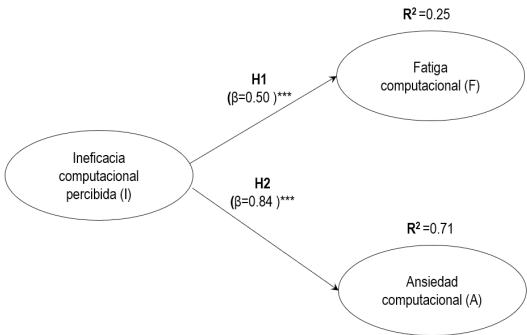


Figura 2 – Resultados del análisis del modelo estructural

5. Discusión y conclusiones

Según los hallazgos del estudio, las creencias de ineficacia computacional explican la ansiedad computacional en un 71% y la fatiga computacional en un 25%, validándose las hipótesis del modelo de investigación. Estos resultados apoyan la idea que en una muestra de secretarías, la ineficacia computacional percibida se relaciona con la ansiedad y la fatiga computacional. Considerando los aportes de Salanova (2003), la falta de recursos personales para usar las TIC (ausencia de tecno-recursos) genera en las secretarías universitarias mayores niveles de ansiedad y actitudes negativas hacia las TIC, como la fatiga computacional, provocada por las demandas laborales que deben realizarse con las TIC (tecno-demandas laborales).

Los resultados señalan que la ansiedad computacional es uno de los efectos adversos del tecnoestrés y puede hacer que las personas sientan temor de lo que les espera en el futuro, por ejemplo, Neffa (2015) indica que las demandas laborales de los académicos hacia las secretarías universitarias ha ido disminuyendo con el tiempo, ya que los mismos están haciendo parte del trabajo que antes era exclusivo de ellas. Por otra parte, la fatiga computacional, también es uno de los resultados adversos del tecnoestrés, en donde las personas experimentan problemas de cansancio producidos por el uso de la computadora, provocándoles problemas para descansar y desconectarse luego de su día laboral. La fatiga computacional puede disminuir cuando las tareas que se realizan son repetitivas año a año y aumentar por tareas que requieren nuevas exigencias computacionales.

En este trabajo hemos propuesto y validado un nuevo modelo que apoya la idea que la ansiedad y la fatiga computacional son efectos adversos del tecnoestrés provocados por una falta de eficiencia tecnológica. Para inhibir o reducir los efectos negativos del uso de las TIC, y acuerdo con Tarafdar et al. (2011), las instituciones pueden mejorar la alfabetización digital, el apoyo técnico y la participación en las decisiones relacionadas con las TIC entre sus trabajadores (Ragu-Nathan et al., 2008). Asimismo, la literatura señala otras propuestas con esta orientación, como potenciar el apoyo técnico y social de pares (Joo, Lim, & Kim, 2016), estimular la apreciación positiva de la innovación (La Torre, Esposito, Sciarra, & Chiappetta, 2019) y de la utilidad de las nuevas tecnologías (Lee, 2016), promover una cultura organizacional que estimule la proactividad de los empleados (Hung, Chen, & Lin, 2015) y la autoeficacia tecnológica (Tarafdar et al., 2015) con el objeto de aumentar la satisfacción de los trabajadores por el uso de las TIC (Carabel & Martínez, 2018).

Este trabajo no está exento de limitaciones, considerando que es un estudio transversal, la generalización de los resultados está limitada por la población de la muestra, por tanto, nuestros resultados exploratorios deben ser evaluados de manera orientativa. Futuros estudios en esta línea deberían incluir muestras de secretarías que trabajen en distintas organizaciones como también analizar otras variables que puedan provocar emociones negativas en los entornos laborales con el uso de las TIC, como por ejemplos el miedo al desempleo, el compromiso organizacional y la intención de cambiar de trabajo.

Desde una perspectiva práctica, los hallazgos de este estudio compelen a los directivos a diseñar programas de capacitación que aumenten la autoeficacia computacional de su personal administrativo, disminuyendo riesgos psicosociales y tensiones asociadas con la ansiedad y la fatiga computacional.

Referencias

- Agogo, D., & Hess, T. J. (2018). "How does tech make you feel?" a review and examination of negative affective responses to technology use. *European Journal of Information Systems*, 27(5), 570–599. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2018.1435230>
- Ayyagari, R., Grover, V., & Purvis, R. (2011). Technostress: Technological Antecedents and Implications. *MIS Q.*, 35(4), 831–858. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2208940.2208943>

- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, 37(2), 122–147. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.37.2.122>
- Berger, R., Romeo, M., Gidion, G., & Poyato, L. (2016). Media use and technostress. *Proceedings of INTED2016 Conference*, 390–400. Valencia.
- Brillart, P. E. (2004). Technostress in the Workplace: Managing Stress in the Electronic Workplace. *Journal of American Academy of Business*, 5, 302–307.
- Brooks, S. (2015). Does personal social media usage affect efficiency and well-being? *Computers in Human Behavior*, 46, 26–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.053>
- Brynjolfsson, E., & Hitt, L. M. (2000). Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance. *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 23–48. <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.23>
- Carabel, T. C., & Martínez, N. O. (2018). Tecnoestrés en la Sociedad de la Tecnología y la Comunicación : Revisión Bibliográfica a partir de la Web of Science. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 21(1), 18–25. <https://doi.org/10.12961/aprl.2018.21.01.4>
- Chua, S. L., Chen, D.-T., & Wong, A. F. L. (1999). Computer anxiety and its correlates: a meta-analysis. *Computers in Human Behavior*, 15(5), 609–623. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(99\)00039-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0747-5632(99)00039-4)
- Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Computer Self-Efficacy: Development of a Measure and Initial Test. *MIS Quarterly*, 19(2), 189–211. <https://doi.org/10.2307/249688>
- Dijkstra, T. K., & Henseler, J. (2015). Consistent partial least squares path modeling. *MIS Quarterly*, 39(2), 297–316.
- Gallardo, A., & De León, S. (2010). Ambientes colaborativos vs entrés laboral en la era de la información. *Gestión y Estrategia*, 37(1), 49–60.
- Galluch, P., Grover, V., & Thatcher, J. (2015). Interrupting the Workplace: Examining Stressors in an Information Technology Context. *Journal of the Association of Information Systems*, 16(1), 1–47. <https://doi.org/10.17705/1jais.00387>
- Hair, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Mena, J. A. (2012). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40(3), 414–433. <https://doi.org/10.1007/s11747-011-0261-6>
- Heinssen, R. K., Glass, C. R., & Knight, L. A. (1987). Assessing computer anxiety: Development and validation of the Computer Anxiety Rating Scale. *Computers in Human Behavior*, 3(1), 49–59. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0747-5632\(87\)90010-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0747-5632(87)90010-0)
- Hung, W., Chen, K., & Lin, C. (2015). Does the proactive personality mitigate the adverse effect of technostress on productivity in the mobile environment? *Telematics and Informatics*, 32(1), 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2014.06.002>

- Joo, Y. J., Lim, K. Y., & Kim, N. H. (2016). The effects of secondary teachers' technostress on the intention to use technology in South Korea. *Computers & education*, 95, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.004>
- Karr-Wisniewski, P., & Lu, Y. (2010). When More is Too Much: Operationalizing Technology Overload and Exploring Its Impact on Knowledge Worker Productivity. *Comput. Hum. Behav.*, 26(5), 1061–1072. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.03.008>
- La Torre, G., Esposito, A., Sciarra, I., & Chiappetta, M. (2019). Definition, symptoms and risk of techno-stress: a systematic review. *International archives of occupational and environmental health*, 92(1), 13–35. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1352-1>
- Lazarus, R. (1991). *Emotion and Adaptation*. New York: Oxford University Press.
- Lazarus, R., & Lazarus, B. (1996). *Passion and Reason: Making sense of our emotions*. Oxford: Oxford University Press.
- Lee, A. R., Son, S.-M., & Kim, K. K. (2016). Information and communication technology overload and social networking service fatigue: A stress perspective. *Computers in Human Behavior*, 55, 51–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.011>
- Lee, J. (2016). Habit, negative emotions, and intention to continue to use a cell phone. *Social behavior and personality*, 44(10), 1687–1698. <https://doi.org/10.2224/sbp.2016.44.10.1687>
- Lee, R. L., & Ashforth, B. (1996). A meta-analytic examination of the correlates of the three dimensions of job burnout. *Journal of Applied Psychology*, Vol. 81, pp. 123–133. <https://doi.org/10.1037//0021-9010.81.2.123>
- Leiter, M. P. (1992). Burn-out as a crisis in self-efficacy: Conceptual and practical implications. *Work & Stress*, 6(2), 107–115. <https://doi.org/10.1080/02678379208260345>
- Llorens, S., Salanova, M., & Ventura, M. (2011). *Guías de intervención: Tecnoestrés*. Madrid: Síntesis.
- Marcoulides, G. A. (1989). Measuring Computer Anxiety: The Computer Anxiety Scale. *Educational and Psychological Measurement*, 49(3), 733–739. <https://doi.org/10.1177/001316448904900328>
- Neffa, J. C. (2015). *Los riesgos psicosociales en el trabajo: una contribución a su estudio* (1a edición). Buenos Aires, Argentina.
- Nussbaum, M. (2008). *Paisajes del pensamiento: la inteligencia de las emociones*. Madrid: Ediciones Paidós.
- Picon, C., Toledo, S., & Navarro, V. (2016). Tecnoestrés: Identificación y prevalencia en el personal docente de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional del Nordeste. *Revista de La Facultad de Medicina de La Universidad Nacional Del Nordeste*, 26(3), 41–51.

- Pinedo-Cantillo, I., & Yañez-Canal, J. (2017). The cognitive dimension of emotions in the moral life: the contributions of Martha Nussbaum to the current state of the discussion. *Cuestiones de Filosofía*, 3(20), 105–127.
- Popescu, C., Ilie, O.-M., & Bondac, G. T. (2018). The “Techno-stress” Phenomenon and Its Consequences in the Modern Organization. *Proceedings Volume: 9th LUMEN International Scientific Conference Communicative Action & Transdisciplinarity in the Ethical Society CATES 2017*, 4(1), 224–238. Targoviste, Romania.
- Ragu-Nathan, T. S., Tarafdar, M., Ragu-Nathan, B. S., & Tu, Q. (2008). The consequences of technostress for end users in organizations: Conceptual development and validation. *Information Systems Research*, 19(4), 417–433. <https://doi.org/10.1287/isre.1070.0165>
- Rajput, N., Gupta, M., Kesharwani, S., & Ralli, N. C. N. (2011). Techno Stress in Gender Perspective: An Empirical Investigation. *Global Journal of Enterprise Information System*, 3(4), 12–21. Retrieved from <http://www.informaticsjournals.com/index.php/gjeis/article/view/3159>
- Riedl, R., Kindermann, H., Auinger, A., & Javor, A. (2012). Computer Breakdown As a Stress Factor During Task Completion Under Time Pressure: Identifying Gender Differences Based on Skin Conductance. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2013(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/420169>
- Salanova, M. (2003). Trabajando con tecnologías y afrontando el tecnoestrés: el rol de las creencias de eficacia. *Revista de Psicología Del Trabajo y de Las Organizaciones*, 19(3), 225–246.
- Salanova, M. (2005). Metodología WONT para la Evaluación y Prevención de Riesgos Psicosociales. *Gestión Práctica de Riesgos Laborales*, 14, 22–32.
- Salanova, M., Llorens, S., & Cifre, E. (2007). *NTP 730: Tecnoestrés: concepto, medida e intervención psicosocial*. Retrieved from https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_730.pdf
- Salanova, M., Llorens, S., & Ventura, M. (2014). Technostress: The Dark Side of Technologies. In C. Korunka & P. Hoonakker (Eds.), *The Impact of ICT on Quality of Working Life* (pp. 87–103). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-017-8854-0_6
- Schiffirin, H., Edelman, A., Falkenstern, M., & Stewart, C. (2010). The associations among computer-mediated communication, relationships, and well-being. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 13(3), 299–306.
- Sellberg, C., & Susi, T. (2014). Technostress in the office: a distributed cognition perspective on human–technology interaction. *Cognition, Technology & Work*, 16(2), 187–201. <https://doi.org/10.1007/s10111-013-0256-9>
- Shu, Q., Tu, Q., & Wang, K. (2011). The impact of computer self efficacy and technology dependence on computer related technostress: A Social Cognitive theory perspective. *Journal of Human Interaction*, 10(27), 923–939. <https://doi.org/10.1080/10447318.2011.555313>

- Solomon, R. (2003). *Not Passion's Slave: Emotions and Choice*. <https://doi.org/10.1093/0195145496.001.0001>
- Tarafdar, M., Bolman, E., & Ragu-Nathan, T. (2015). Technostress: Negative effect on performance and possible mitigations. *Information Systems Journal*, 25(2), 103–132. <https://doi.org/10.1111/isj.12042>
- Tarafdar, M., Tu, Q., Ragu-Nathan, B., & Ragu-Nathan, T. (2007). The impact of technostress on role stress and productivity. *Journal of Management Information Systems*, 24(1), 301–328. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240109>
- Tarafdar, M., Tu, Q., Ragu-Nathan, T., & Ragu-Nathan, B. (2011). Crossing to the darkside: Examining creators, outcomes, and inhibitors of technostress. *Communications of the ACM*, 54(9), 113–120. <https://doi.org/10.1145/1995376.1995403>
- Weil, M., & Rosen, L. (1997). *Technostress: Coping With Technology Work Home Play*. New York: Wiley.

Sistema Automatizado Baseado em FPGA para Eletro-Oculograma Clínico

Wisla M. M. Oliveira¹, Nayana L. M. Viana¹, Francisco A. Brito-Filho¹

wislamilenamoraes@gmail.com, nayana.viana@ufersa.edu.br, francisco.brito@ufersa.edu.br.

¹ Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica – LIEB, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, 59.780-000, Caraúbas – RN, Brasil.

Pages: 272–285

Resumo: Este artigo apresenta um sistema baseado em FPGA (*Field Programmable Gate Array*) para executar automaticamente o Eletro-oculograma (EOG) clínico de acordo com os padrões estabelecidos pela Sociedade Internacional de Eletrofisiologia Clínica da Visão (ISCEV). O sistema consiste na determinação do Índice de Arden, com a finalidade de auxiliar no diagnóstico de doenças oculares de forma rápida e eficiente. O dispositivo FPGA foi utilizado para gerar os estímulos necessários para a aquisição do biosinal ocular, e ainda, para o processamento deste. Para o projeto do sistema, foram inicialmente realizadas simulações no Modelsim®, e os resultados experimentais obtidos com o exame são apresentados. Testes para a validação do sistema foram realizados em dois voluntários, comprovando o seu funcionamento de acordo com a norma.

Palavras-chave: Eletro-oculograma; ISCEV; Biosinais; Índice de Arden; Doenças Oculares.

An Automated FPGA Based System for Clinical Electro-Oculogram

Abstract: This paper presents an FPGA (Field Programmable Gate Array) based system to automatically perform clinical electro-oculogram (EOG) according to standards provided by International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV). The diagnosis of diseases will be based on determination of the Arden Ratio in order to assist the detection of eye diseases quickly and efficiently. The FPGA device was used to generate the stimuli needed for the acquisition of the ocular biosignal, and also for its processing. For the system design, simulations were initially performed on Modelsim®, and the experimental results obtained with the exam are presented. Tests for the validation of the clinical electro-oculogram (EOG) aid system were performed on two volunteers.

Keywords: Electro-Oculogram; ISCEV; Biosignals; Ratio Arden; Eye Diseases.

1. Introdução

De acordo com Organização Mundial da Saúde [OMS] (2018) cerca de 1,3 bilhões de pessoas em todo o mundo sofrem com algum tipo de problema na visão. Além disso,

avalia-se que cerca de 36 milhões dessa parcela da população são cegas. Ainda em conformidade com a OMS, estima-se que 80 % desses problemas de cegueira poderiam ser evitados e/ou controlados, se diagnosticados em tempo hábil. Diante do exposto, destaca-se a importância do diagnóstico precoce de doenças oculares, uma vez que esse diagnóstico pode em alguns casos, reduzir a ocorrência de tais doenças.

Existem três exames eletrofisiológicos capazes de diagnosticar disfunções oculares, a saber: Eletroretinograma (ERG), Potencial Evocado Visual (PEV) e o Eletro-oculograma (EOG). Todos esses testes para medições dos biosinais oculares, são padronizados pela Sociedade Internacional de Eletrofisiologia Clínica da Visão (ISCEV) e fornecem informações diferentes quanto a saúde do olho. O ERG fornece informações globais sobre as funções da retina, o PEV fornece diagnóstico de doenças no nervo óptico ou disfunção visual pós-retiniana, e o EOG avalia a função do epitélio pigmentar da retina (EPR) e possíveis alterações neste (Robson *et al.*, 2018).

O eletro-oculograma é uma importante ferramenta para o diagnóstico de disfunções oculares e desenvolvimento de novos dispositivos com ênfase na inteligência computacional. A busca por ambas as aplicações envolvendo dispositivos mais compactos e com baixo custo são um atrativo, tendo em vista que os produtos comerciais existentes apresentam elevados custos e são volumosos (Chaudhuri, Dasgupta, Chakraborty, & Routray, 2016). Para obter esses benefícios em um sistema, uma alternativa é a utilização de um dispositivo de arranjo de portas programáveis em campo (FPGA, do inglês *Field Programmable Gate Array*), para o controle e processamento dos sinais de EOG.

Com o FPGA é possível desenvolver um *hardware* eficiente com uma arquitetura de processamento reconfigurável. Um sistema de processamento eficiente pode auxiliar em emergências médicas, bem como, em aplicações móveis para pessoas com algum tipo de deficiência no contexto da internet das coisas relacionadas a saúde. Por esse motivo, o desenvolvimento de processamento inteligente e de alto desempenho é objeto de pesquisas (Agarwal, Singh, Rani, & Mittal, 2017).

Com o objetivo de desenvolver um sistema eficiente, com algoritmos inteligentes para processamento do eletro-oculograma, neste trabalho é proposto um *hardware* otimizado para aquisição e processamento do EOG. O uso do FPGA foi empregado para executar o processamento digital do sinal, assim como, para controlar a aquisição do EOG clínico de acordo com a padronização estabelecida pela ISCEV.

Esse trabalho apresenta os principais conceitos, metodologias e resultados que subsidiam um EOG clínico. Inicialmente, na seção 2 é realizada uma fundamentação teórica sobre o EOG clínico. O sistema proposto para a aquisição e processamento do biosinal ocular é descrito na seção 3. As seções 4 e 5 descrevem o projeto do sistema e a metodologia de testes, respectivamente. Na seção 6 são apresentados os principais resultados obtidos e discussões. As considerações finais e propostas de trabalhos futuros são retratadas na seção 7.

2. Eletro-Oculograma Clínico

A atividade elétrica está presente em muitos órgãos do corpo humano, tais como, por exemplo, coração, cérebro, músculos e olhos. Esses sinais elétricos, são decorrentes da diferença de potencial existente entre o interior e o exterior das células. Em aplicações

médicas, os biosinais são utilizados para obter informações sobre um órgão e/ou músculo a ser investigado (Bronzino, 2006). No entanto, o estudo dos sinais biológicos não é apenas relevante para diagnóstico clínico de patologias, o conhecimento desses sinais permite também o desenvolvimento de dispositivos que podem auxiliar pessoas com algum tipo de deficiência (López, Fernández, Rodríguez, Ferrero, & Postolache, 2018) (Yathunanthan, Chandrasena, Umakanthan, Vasuki, & Munasinghe, 2008).

O sinal obtido com a realização do eletro-oculograma é originado devido à diferença de potencial existente entre a córnea e a retina, durante a execução de um movimento com os olhos (Merino, Rivera, Gómez, Molina, & Dorrnazor, 2010). De modo geral, o formato do biosinal EOG assemelha-se a ondas de pulso. A Figura 1 ilustra a diferença de potencial e os sinais gerados de acordo com o movimento dos olhos na horizontal.

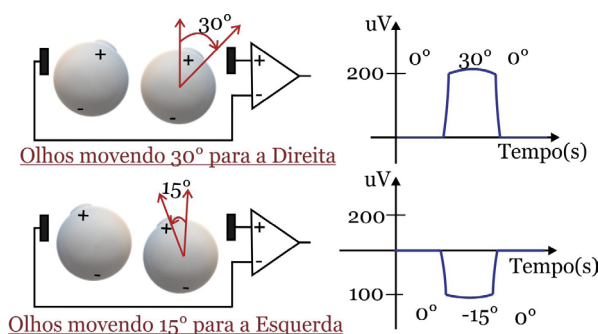


Figura 1 – Sinais obtidos ao realizar movimentos horizontais com os olhos.

De acordo com o ilustrado na Figura 1, um sinal positivo é obtido ao movimentar os olhos horizontalmente para a direita e um pulso negativo é obtido com um movimento para a esquerda. Comumente, um movimento é usado para gerar o sinal de pulso, enquanto o outro retorna para a posição neutra. Além do mais, a amplitude do pulso gerada depende do ângulo do movimento ocular.

Existe uma diferença de potencial entre o interior e o exterior do olho, conhecida como potencial permanente do olho, esse potencial consiste em uma medida do potencial transepitelial do epitélio pigmentar da retina (EPR). Na realização de um eletro-oculograma clínico, alterações no potencial do EPR são gravadas durante um determinado tempo, onde se observa adaptações à luz e ao escuro (Constable *et al.*, 2017).

Nesse âmbito, o EOG é uma ferramenta importante no diagnóstico de doenças da retina, onde o EPR está comprometido (Munhoz, Salomão, Berezovsky, & Sacai, 2004). Entretanto, além de ser uma ferramenta para o auxílio na detecção de disfunções oculares, na literatura são retratadas diversas outras aplicações com o EOG. Em Estrany, Fuster, Garcia e Luo (2009) foi implementada uma interface para controlar um computador a partir de movimentos com os olhos. Já Rahman, Bhuiyan e Hassan (2018) exibe uma classificação dos estágios do sono utilizando o EOG e, em Viana, Barbosa-Junior e Brito-Filho (2019) é possível verificar um dispositivo EOG microcontrolado para aplicações militares.

A realização do eletro-oculograma clínico deve seguir a padronização fornecida pela ISCEV, de modo a se criar uma equivalência do teste em diferentes laboratórios. Essa padronização descreve os procedimentos necessários para a execução do exame, como, por exemplo, a maneira na qual devem ser registradas as medições do EOG para aplicações clínicas. Ainda são itens descritos na padronização da ISCEV: a preparação do paciente, posicionamento dos eletrodos, o uso da cúpula de Ganzfeld e a duração de cada etapa do exame (Constable *et al.*, 2017).

Conforme descrito pela ISCEV, a alteração de luz em um ambiente, induz uma mudança no potencial EPR, uma vez que a retina tende a se adaptar a essa variação. Desse modo, para avaliar a função da retina e do EPR, a execução do EOG deve ser realizada em duas fases, uma de adaptação ao escuro (fase escotópica) e outra ao claro (fase fotópica). Cada uma dessas fases, tem uma duração estimada de 15 minutos (Constable *et al.*, 2017).

Durante a fase Escotópica, ocorre uma redução nos níveis de potenciais captados e deve ser registrado o menor pico ocorrido. Esse menor valor é conhecido como DT, do inglês, *Dark Trough*. Já durante a fase Fotópica, um aumento na amplitude do sinal é registrado, e deve ser gravado o pico máximo ocorrido na fase clara, ou LP, do inglês, *Light Peak* (Munhoz *et al.*, 2004). A relação entre o pico máximo (LP) obtido na fase de luz e o pico mínimo (DT) da fase escura é conhecida como Índice de Arden (IA), e consiste em um parâmetro amplamente analisado no EOG para diagnóstico de disfunções oculares (Constable *et al.*, 2017) (Munhoz *et al.*, 2004).

3. Sistema Proposto

O sistema proposto para o EOG clínico, destina-se a realizar a aquisição e o processamento do sinal obtido, bem como, a geração dos estímulos necessários para guiar os movimentos oculares que serão realizados pelo paciente durante o exame. A Figura 2 ilustra o diagrama de blocos para a arquitetura proposta.

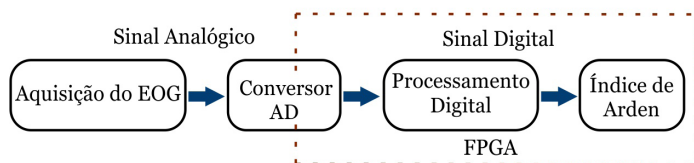


Figura 2 – Diagrama de Blocos do sistema proposto para aquisição e processamento.

O primeiro estágio da arquitetura consiste em um circuito para a aquisição do biosinal do EOG. Uma vez que os dados obtidos no exame estão na forma analógica, é necessário a conversão destes para realizar o processamento com o FPGA, desse modo, o próximo bloco consiste em um conversor AD. Parte do conversor AD é implementado no FPGA, haja vista que a topologia de conversor proposta é a sigma-delta. Por último, são registrados o pico máximo da fase clara e o pico mínimo da fase escura, para obtenção do Índice de Arden.

Uma vantagem de se utilizar aplicações com processamento digital, é que apenas alguns componentes analógicos são necessários, sendo parte do processamento implementada dentro do FPGA. Além disso, com o uso do FPGA, é possível realizar o processamento digital do biosinal com alta velocidade e reconfigurabilidade. Devido à natureza do processamento paralelo dos FPGAs, é possível controlar todo o exame (os estímulos de Ganzfeld) ao mesmo tempo em que o sinal é adquirido e processado em tempo real.

3.1. Aquisição do Sinal e Controle dos Estímulos

Em conformidade com o especificado pela ISCEV, o EOG clínico é realizado em duas fases: uma de exposição ao escuro, denominada de fase escotópica, e outra de exposição a luz, conhecida como fase fotópica. Cada uma dessas fases tem duração estimada de 15 minutos. Em cada estágio do exame, existem três diodos emissores de luz (LEDs, do inglês *Light Emitting Diodes*) para guiar os movimentos horizontais oculares do paciente, durante a execução do exame. Com o objetivo de realizar o controle desses estímulos com os LEDs, um algoritmo foi desenvolvido para configuração do FPGA, seguindo o que determina a norma da ISCEV. O algoritmo foi desenvolvido utilizando a linguagem de descrição de *hardware* VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*). A ilustração das conexões dos LEDs com o FPGA utilizadas para gerar os estímulos de Ganzfeld pode ser observada na Figura 3.

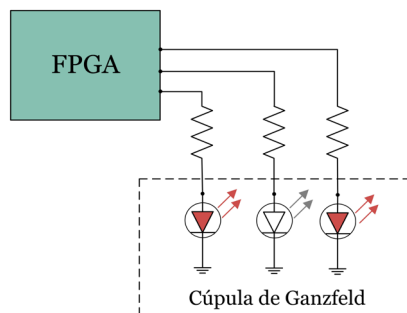


Figura 3 – Ilustração das conexões dos LEDs ao FPGA para gerar os estímulos de Ganzfeld.

Os três LEDs ilustrados na Figura 3 controlam os movimentos oculares. Dois LEDs da cor vermelha são posicionados nas laterais, a 15° do campo de visão do paciente. E um LED da cor branca, é centralizado no campo de visão do paciente. As oscilações dos LEDs são controladas em ciclos de 60 segundos. Esses LEDs são localizados na cúpula de Ganzfeld, e, recebem o nome de estímulos de Ganzfeld.

Durante os primeiros 25 segundos de cada ciclo apenas o LED central fica aceso, após esse intervalo, o LED central apaga e os LEDs vermelhos irão oscilar por 10 segundos, sendo que cada um é aceso por vez durante 1 segundo. Finalizando o ciclo de 60 segundos, o LED central acende novamente e os LEDs laterais apagam, permanecendo

assim durante os últimos 25 segundos do ciclo. Esse ciclo deve se repetir até o termino de cada fase do exame.

3.2. Processamento Digital

O Índice de Arden é descrito pela razão entre o pico máximo da fase de luz (LP) e o pico mínimo da fase escura (DT), e é a principal medida clínica do EOG, sendo a obtenção desse parâmetro de suma importância para diagnóstico de doenças (Constable *et al.*, 2017) (Munhoz *et al.*, 2004).

Com o objetivo de obter o Índice de Arden (IA), foram desenvolvidos algoritmos para registrar os valores de LP e DT. Os algoritmos foram programados no FPGA, utilizando a linguagem VHDL.

Um fluxograma utilizado para determinar o valor de pico máximo da fase fotópica é mostrado na Figura 4. Durante um período de 15 minutos (900 segundos) o código irá comparar o valor da entrada com o valor máximo armazenado no momento, de modo a sempre armazenar o maior pico. Analogamente, o pico mínimo da fase escotópica é registrado.

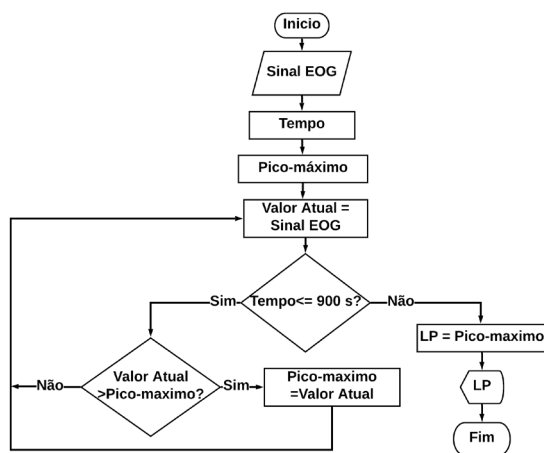


Figura 4 – Fluxograma para o detector de pico máximo (fase fotópica).

A Figura 5 exibe o fluxograma para determinar o pico mínimo da fase escura.

Para o detector do DT, o algoritmo irá comparar o valor da entrada com o valor do registrador, armazenando os picos de amplitude durante cada oscilação. Ao final do tempo pré-definido de 15 minutos, o valor do menor pico de amplitude será determinado e exibido. Assim, para o desenvolvimento do *hardware* otimizado, os detectores LP e DT, a unidade de controle de estímulos e o conversor analógico-digital foram sintetizados no FPGA, de modo a obter um sistema compacto e reconfigurável.

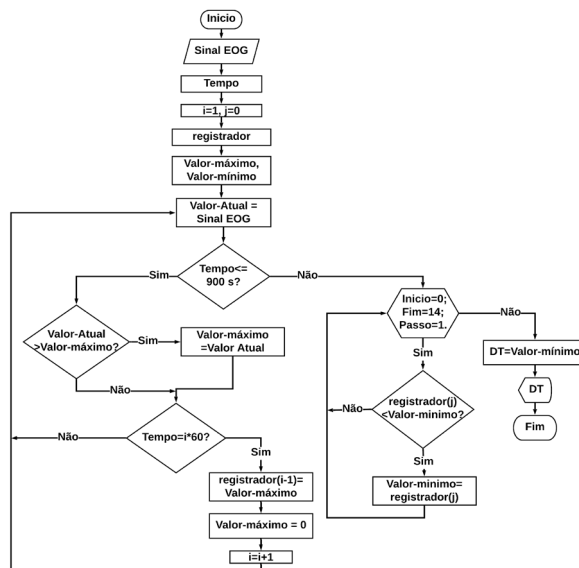


Figura 5 – Fluxograma para o detector de pico mínimo (fase escotópica).

4. Projeto do Sistema

A Figura 6 mostra o diagrama RTL (do inglês *Register Transfer Level*) completo do sistema projetado. Existem cinco principais blocos no sistema: o conversor AD, cuja as partes digitais são implementadas no FPGA; o bloco controle de estímulos, onde são realizados os controles dos tempos para o processo de aquisição e estímulos de Ganzfeld; os blocos detectores, que registram o DT e LP; e por último, o bloco para o cálculo do Índice de Arden.

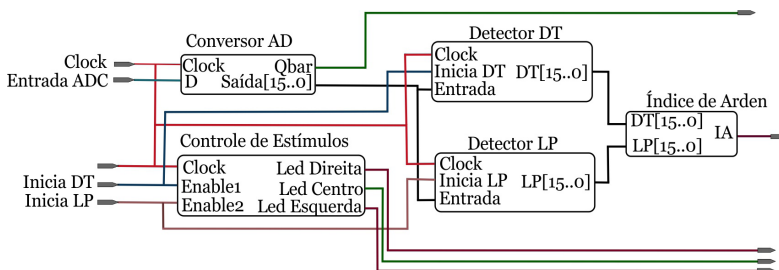


Figura 6 – Síntese RTL do Sistema.

Inicialmente foi implementado o bloco controle de estímulos, uma vez que este é necessário para a aquisição do EOG clínico. A Figura 7 mostra o resultado da simulação realizada no *software* Modelsim®, para um determinado período do ciclo de aquisição.

A simulação é mostrada no domínio digital (níveis lógicos) para os LEDs utilizados na geração dos estímulos (dois laterais e um central).

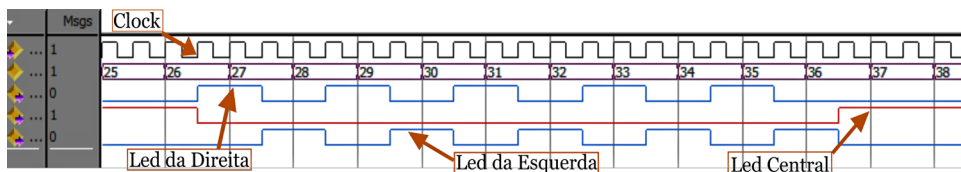


Figura 7 – Resultados da Simulação do Bloco Controle de Estímulos.

O processo de oscilação descrito anteriormente pode ser analisado. O LED central inicia aceso durante 25 segundos, passados os primeiros 25 segundos do ciclo, os LEDs laterais acendem um de cada vez (intercalados) e, após o período de oscilação de 10 segundos, o LED central é ligado (e os demais são desligados). O processo é controlado por um *clock* interno do FPGA e uma tecla de *reset*.

5. Metodologia de Testes

Após o processo de simulações no Modelsim®, o FPGA foi programado para testar o controle dos estímulos de Ganzfeld que são utilizados no EOG clínico. Para fins de teste experimental, o sistema foi implementado usando uma placa de desenvolvimento DE-O com o FPGA Cyclone III. A Figura 8 mostra a configuração do teste experimental para controle, aquisição e processamento de estímulos do EOG clínico.

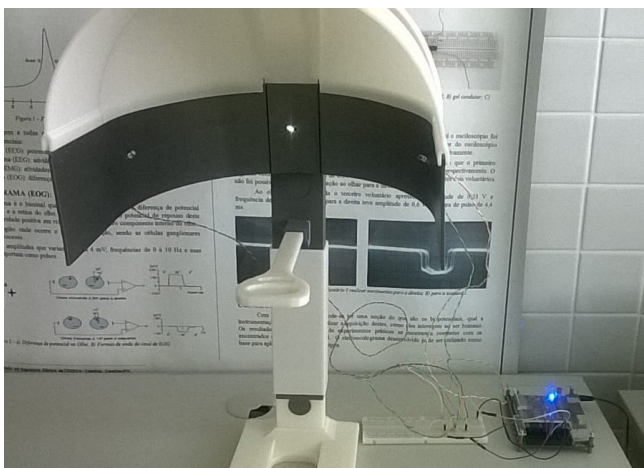


Figura 8 – Configuração do teste mostrando a cúpula de Ganzfeld e o FPGA para controle de estímulo, aquisição e processamento do EOG clínico.

Os testes devem seguir o padrão estabelecido pela ISCEV, a primeira etapa do exame se refere à fase de pré-adaptação. Este é o momento em que os voluntários são preparados

para os testes, bem como, é realizado o posicionamento dos eletrodos para captação do EOG. Além disso, durante esta etapa o paciente deve ser exposto a uma iluminação confortável aos olhos e ensaiar os movimentos sacádicos que serão realizados com os olhos durante o exame (Constable *et al.*, 2017).

O exame se inicia de fato com a fase escotópica sequenciada da fase fotópica, onde são extraídos o DT e LP, respectivamente. Assim, com o uso do FPGA, todo o processo de estímulos para aquisição do EOG foi controlado, e ainda, foi possível realizar todo o processamento do sinal.

A aquisição do EOG clínico para cada um dos voluntários, foi realizada mediante uma plataforma de aquisição da *Digilent AnalogDiscovery 2*. O banco de dados foi gravado durante todo o procedimento do EOG clínico, e assim, foram extraídos os dados relativos aos 15 minutos da fase escura e aos 15 minutos da fase clara. Na Figura 9 pode ser verificado o EOG clínico sendo realizado em voluntários de acordo com os padrões ISCEV, para fins de validação experimental do sistema.

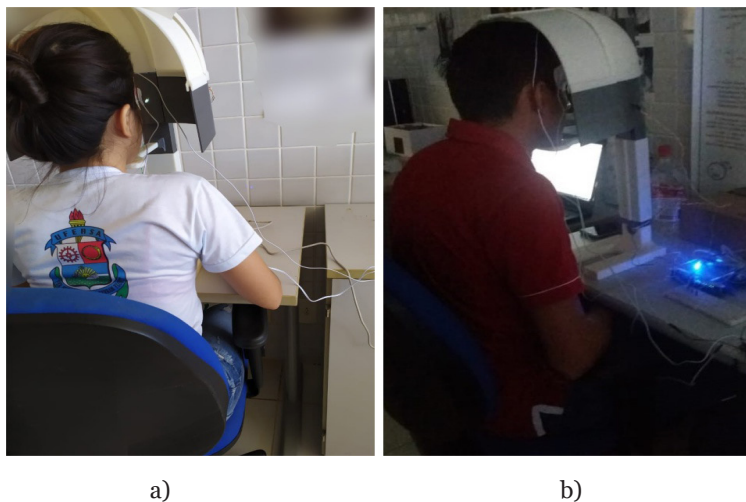


Figura 9 – EOG clínico sendo realizado em voluntários de acordo com os padrões ISCEV para fins de validação experimental do sistema: a) voluntário 1 e b) voluntário 2.

6. Resultados e Discussões

A seguir é possível observar os resultados obtidos para o EOG clínico realizado em dois voluntários para fins de validação do sistema de processamento e de estímulos de Ganzfeld propostos.

Seguindo o padrão ISCEV, após a aquisição dos dados do EOG clínico, foi iniciada as etapas de processamento de dados a fim de se determinar os valores de pico máximo da fase clara (LP) e pico mínimo da fase escura (DT) com o sistema implementado no FPGA.

Inicialmente foi realizado um pré-processamento com os dados da aquisição do EOG. Essa etapa objetiva eliminar os valores irregulares de picos que podem ocorrer durante a realização do exame, uma vez que estes picos indesejados interferem na determinação de valores confiáveis das amplitudes DT e LP. O sinal real adquirido do EOG clínico para cada um dos voluntários foi implementado no FPGA, para validação dos blocos detectores LP e DT.

Para o voluntário 1, o gráfico dos dados de aquisição do EOG, após um processo de suavização e pré-processamento pode ser observado na Figura 10. As curvas mostram a suavização dos pontos extraídos com o EOG clínico, nela são apresentadas as amplitudes máximas de cada um dos ciclos de aquisição do EOG, como especificado pela ISCEV.

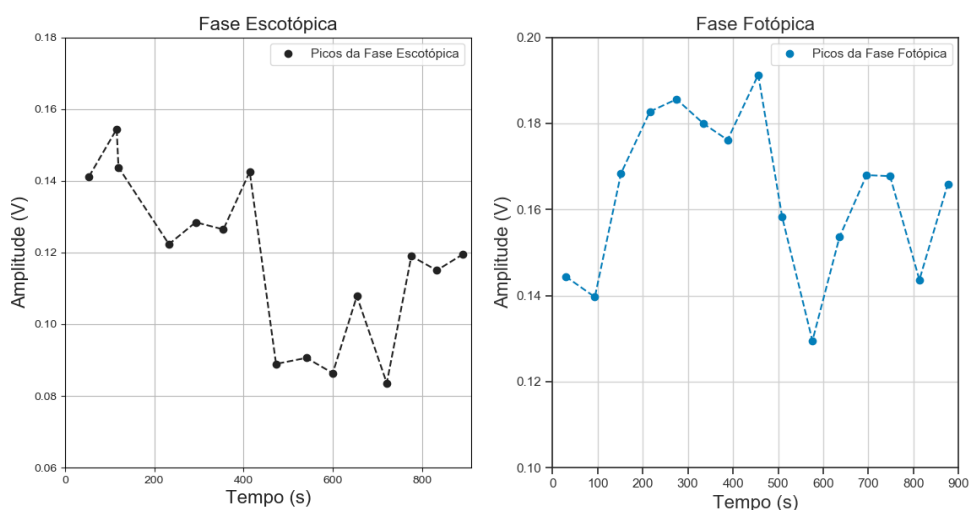


Figura 10 – Forma de onda pré-processada a partir da aquisição de 15 minutos na Fase Escotópica e Fase Fotópica para o voluntário 1.

Para o bloco detector LP implementado no FPGA, o sinal de entrada para o teste foi gerado e as saídas visualizadas no Modelsim®. A Figura 11 mostra esse resultado.

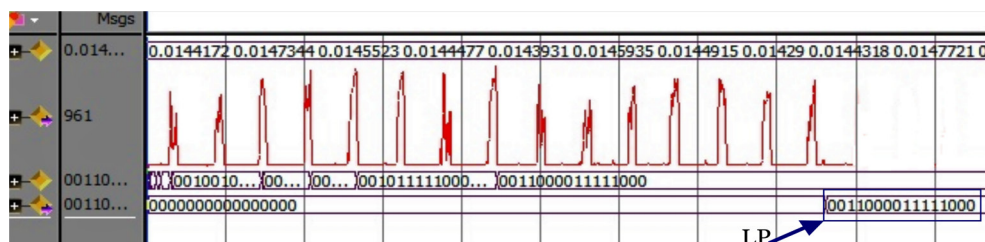


Figura 11 – Teste do Bloco Detector LP para o voluntário 1.

Os dados foram convertidos com uma resolução de 16 bits. O processamento digital pode ser observado na Figura 11. Durante o tempo de teste, ou seja, 900 segundos (15 minutos), um registrador recebe o valor máximo. A cada segundo, a comparação entre o valor máximo armazenado e o valor atual na entrada é realizada, e, portanto, a amplitude máxima do sinal é atualizada. No final do exame, o valor do pico da fase de fotópica é mostrado na saída LP, o valor determinado corresponde a 0,19128 V aproximadamente.

A Figura 12 mostra o resultado do detector DT para os dados do voluntário 1. Analogamente, o sinal real adquirido também foi implementado no FPGA para testar o detector DT. Durante todo o tempo do processo, os valores de amplitudes de pico de cada ciclo são armazenados, e ao final dos 15 minutos, os valores de amplitudes são analisados e o menor pico é armazenado na variável DT. O valor digitalmente determinado, mostrado na Figura 12, resulta em um pico mínimo de 0,08357 V.

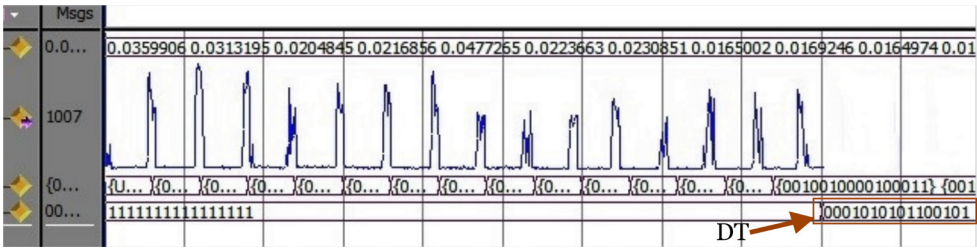


Figura 12 – Teste do Bloco Detector DT para o voluntário 1.

O mesmo procedimento foi realizado para o voluntário 2. O gráfico dos dados de aquisição do EOG após um processo de suavização para as fases escotópica e fotópica são mostrados na Figura 13, onde podem ser observados também, os pontos considerados em cada ciclo do exame.

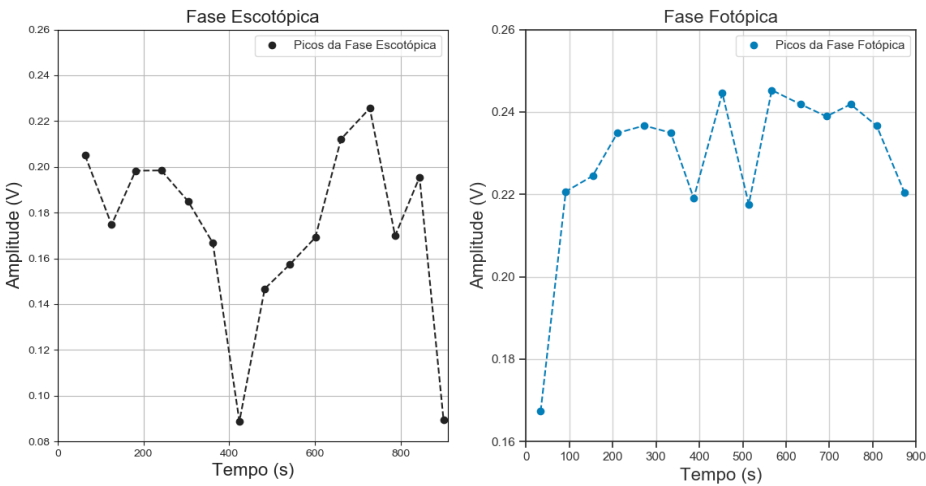


Figura 13 - Forma de onda pré-processada a partir da aquisição de 15 minutos na Fase Escura e Fase Clara para o voluntário 2.

O resultado do teste do detector de LP para o voluntário 2 é mostrado na Figura 14. O resultado do pico máximo para o voluntário 2 é equivalente a 0,2453 V aproximadamente.

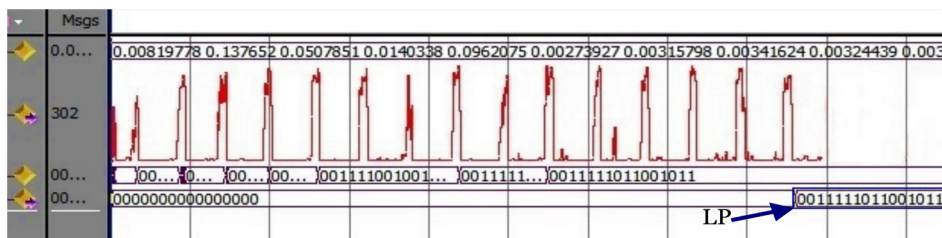


Figura 14 – Teste do Bloco Detector LP para o voluntário 2.

O resultado do bloco DT para o voluntario 2 é mostrado na Figura 15.

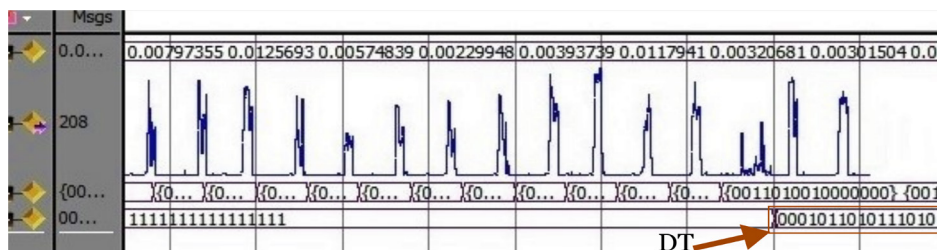


Figura 15 – Teste do Bloco Detector DT para o voluntário 2.

O voluntário 2 apresentou um valor DT que equivale a 0,08878 V.

7. Conclusões

Este trabalho apresentou um sistema para processamento do biopotencial do EOG de acordo com os padrões ISCEV. Os algoritmos foram desenvolvidos para a implementação em FPGA, incluindo controle dos estímulos de Ganzfeld, detector de pico máximo da fase fotópica (LP) e detector de pico mínimo da fase escotópica (DT), para realizar automaticamente um EOG clínico. A aquisição experimental foi realizada para as duas fases do EOG clínico, onde todo o processo de aquisição foi controlado pelo estímulo Ganzfeld implementado no FPGA.

Por fim, os sinais do EOG clínico realizado em voluntários, foram processados com auxílio do FPGA para validar o sistema. Os resultados mostraram a capacidade de utilização do FPGA para esta aplicação, uma vez que sua natureza de processamento paralelo possibilita o desenvolvimento de um sistema compacto, com bom desempenho e baixo custo. Como perspectivas futuras para este trabalho, propõem-se a realização de testes em tempo real com o sistema proposto, assim como, a utilização desse protótipo para realizar exames em pacientes e a transferência dessa tecnologia para o sistema público de saúde.

Referências

- Agarwal, S., Singh, V., Rani, A., & Mittal, A. P. (2017). Hardware efficient denoising system for real EOG signal processing. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(4), 2857-2862.
- Bronzino, J. D. (2006). *Medical devices and systems* (3rd ed.). New York, NY, USA: CRC Press Taylor Francis Group.
- Constable, P. A., Bach, M., Frishman, L. J., Jeffrey, B. G., Robson, A. G., & International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. (2017). ISCEV standard for clinical electro-oculography (2017 update). *Documenta Ophthalmologica*, 134(1), 1–9. Retrieved from doi: 10.1007/s10633-017-9573-2.
- Chaudhuri, A., Dasgupta, A., Chakraborty, S., & Routray, A. (2016, Jan). A low-cost, wearable, portable EOG recording system. In *2016 International conference on systems in medicine and biology (ICSMB)* (p. 102-105). IEEE. doi: 10.1109/ICSMB.2016.7915098
- Estrany, B., Fuster, P., Garcia, A., & Luo, Y. (2009, Jun). EOG signal processing and analysis for controlling computer by eye movements. In *Proceedings of the 2nd international conference on pervasive technologies related to assistive environments*. ACM. doi:10.1145/1579114.1579132.
- López, A., Fernández, M., Rodríguez, H., Ferrero, F., & Postolache, O. (2018). Development of an EOG-based system to control a serious game. *Measurement* 127, 481 – 488. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322411830544X> doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.06.017>
- Merino, M., Rivera, O., Gómez, I., Molina, A., & Dorrnoro, E. (2010, July). A method of EOG signal processing to detect the direction of eye movements. In *2010 First International Conference on Sensor Device Technologies and Applications* (pp. 100-105). IEEE. doi: 10.1109/SENSORDEVICES.2010.25
- Munhoz, J. S., Salomão, S. R., Berezovsky, A., & Sacai, P. Y. (2004, 04). Normative values for electro-oculography in adults. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 67, 207 - 210. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27492004000200005>.
- World Health Organization. (2018). Blindness and vision impairment. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- Rahman, M. M., Bhuiyan, M. I. H., & Hassan, A. R. (2018). Sleep stage classification using single-channel EOG. *Computers in Biology and Medicine*, 102, 211 - 220. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482518302427> doi: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.08.022>
- Robson, A. G., Nilsson, J., Li, S., Jalali, S., Fulton, A. B., Tormene, A. P., Holder, G. E., & Brodie, S. E. (2018, Feb 01). ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures. *Documenta Ophthalmologica*, 136(1), 1–26. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10633-017-9621-y> doi: 10.1007/s10633-017-9621-y.

- Viana, N. L., Barbosa-Junior, J. A. L., & Brito-Filho, F. A. (2019). Micro-controlled EOG Device for Track and Control Military Applications. In *Developments and Advances in Defense and Security* (pp. 149-157). Springer, Singapore.
- Yathunanthan, S., Chandrasena, L. U. R., Umakanthan, A., Vasuki, V., & Munasinghe, S. R. (2008, Dec). Controlling a wheelchair by use of EOG signal. In *2008 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability* (pp. 283-288). IEEE.

Representación de requisitos de seguridad en BPMN: una Revisión Sistemática de la Literatura

Leonel Muñoz-Vergara¹, Alfonso Rodríguez¹, Angélica Caro¹

Leonel.munoz1401@alumnos.ubiobio.cl, alfonso@ubiobio.cl, mcaro@ubiobio.cl

¹ Departamento de Ciencias de la Computación y Tecnologías de Información, Universidad del Bío-Bío, Andrés Bello 720, Chillán, Chile.

Pages: 286–298

Resumen: Los modelos de procesos de negocio se describen como un conjunto de tareas que, al ser ejecutadas en un orden específico permiten el logro de un objetivo de negocio. En los últimos años se ha incrementado la utilización de dichos modelos como un artefacto útil para desarrollar software. Puesto que BPMN no considera la especificación de requisitos de seguridad en su definición, durante la última década se han propuesto extensiones al lenguaje que apuntan a cubrir esta necesidad. En este artículo se presenta una revisión sistemática de la literatura centrada en las especificaciones de seguridad para BPMN. Como resultado de la investigación se ha obtenido un conjunto de artículos con propuestas de requisitos de seguridad a representar en BPMN. En algunas de estas propuestas se pudo identificar un metamodelo asociado, una representación gráfica de los requisitos de seguridad y/o un software que permite aplicar la propuesta.

Palabras-clave: BPMN, Requisitos de seguridad, Metamodelo, Extensión de seguridad, Revisión Sistemática de la Literatura.

Representation of security requirements in BPMN: a Systematic Review of the Literature

Abstract: Business process models are described as a set of tasks that, when executed in a specific order, allow the achievement of a business objective. In recent years the use of such models has increased as a useful device for developing software. Since BPMN does not consider the specification of security requirements in its definition, during the last decade extensions to the language have been proposed that aim to cover this need. This article presents a systematic review of the literature focusing on safety specifications for BPMN. As a result of the investigation, a set of articles with proposals for security requirements to be represented in BPMN has been obtained. In some of these proposals it was possible to identify an associated metamodel, a graphic representation of the security requirements and / or software that allows the proposal to be applied.

Keywords: BPMN, Security Requirements, Metamodel, Security Extension, Systematic Review of the Literature.

1. Introdução

Un proceso de negocio se describe como un conjunto de tareas relacionadas que se ejecutan en un orden específico, dando como resultado el logro de un objetivo de negocio (Maines, Llewellyn-Jones, Tang, & Zhou, 2015). Para la descripción de procesos de negocio se han utilizado distintos lenguajes y notaciones siendo BPMN (Business Process Model and Notation) (OMG, 2006) es el estándar *de facto* en la industria para el modelado de los procesos de negocio (Chergui & Benslimane, 2018). Los modelos son creados por los responsables del negocio y los representan usando BPMN, esto hace posible contar con modelos en que se tiene en cuenta la perspectiva del negocio. Además, dado que en la mayoría de los casos los procesos de negocio giran en torno al intercambio de información, la protección de dichos activos de información, hace que la seguridad se transforme en un aspecto importante para el éxito del proceso de negocio. Por tanto puede resultar de gran utilidad que estos modelos se utilicen en un proceso de creación de software.

Aunque BPMN es considerado por investigadores y profesionales como una herramienta poderosa para el modelado de procesos de negocio, se han detectado ciertos ámbitos en los que ha sido necesario extender su capacidad expresiva. Las ventajas que proporciona una extensión de un lenguaje como BPMN son variadas y van a depender del dominio para el cual han sido desarrolladas. En el caso de la seguridad estas extensiones permiten: (i) a los encargados de modelar, una identificación y representación de requisitos de seguridad en un alto nivel de abstracción y (ii) a los desarrolladores de software que utilizan estos modelos, una identificación y caracterización temprana de esos requisitos. En el caso de las extensiones de seguridad, estas han sido propuestas por distintos autores a partir del año 2007 llegando a existir más de 20 propuestas hasta el año 2019. Estas extensiones apuntan a entregar una mayor capacidad expresiva a los procesos de negocio considerando diversos aspectos de la seguridad lo cual resulta muy conveniente pues es posible capturar los requisitos de seguridad en ese nivel de abstracción (Chergui & Benslimane, 2018).

En este trabajo se muestra una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) (Kitchenham, Dyba, & Jorgensen, 2004) relacionada con las extensiones de seguridad que existen para el lenguaje BPMN. Se presentan los resultados obtenidos de la revisión resumidos en las características de seguridad que se incluyen en las distintas extensiones y si las propuestas consideran un metamodelo de la extensión, elementos gráficos y/o un software/herramientas que permitan aplicar la propuesta. La realización de este estudio forma parte de un estudio que está orientada a crear una extensión unificada de seguridad para BPMN.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. En la Sección 2 se presentan los conceptos que están relacionados directamente con el tema a investigar. La planificación y detalles más importantes de la RSL son presentados en la Sección 3. Posteriormente en la Sección 4 se exponen los resultados obtenidos tras el análisis de los artículos seleccionados para la RSL. Finalmente, en la Sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Conceptos Relacionados

A continuación, se describen los conceptos más relevantes para esta investigación: proceso de negocio, BPMN, metamodelo y las características/requisitos de seguridad que los distintos autores consideran en las extensiones propuestas.

2.1. Proceso de Negocio (BP, Business Process)

Un proceso de negocio es una colección coordinada de actividades diseñadas para producir una salida que proporciona valor al cliente (Sanchis, Poler, & Ortiz, 2009), con fuerte énfasis en cómo funciona el negocio de una organización. Los procesos de negocio se componen por actividades que son realizadas por actores que desempeñan roles particulares (Mili, Jaoude, Lefebvre, & Tremblay, 2004). Dichas actividades se pueden vincular con los actores que operan dentro de los límites de la organización. Los modelos BP tienen la cualidad de poder ser utilizados tanto por los encargados del negocio como por los responsables de la creación de software.

2.2. Business Process Model and Notation (BPMN)

BPMN es una notación gráfica que describe la lógica de los pasos de un BP y fue propuesta en el año 2004 por Business Process Modeling Initiative (Bruce, 2011). Su creciente popularidad entre las organizaciones provocó que fuera adoptada por la OMG (Object Management Group) en el año 2006. Esta notación ha sido especialmente diseñada para coordinar la secuencia de los procesos y los mensajes que fluyen entre los participantes de las diferentes actividades. BPMN proporciona un lenguaje común con el fin de facilitar la comprensión mediante una notación simple para los usuarios del negocio, que permite representar modelos BP de manera sencilla (OMG, 2006). En sus últimas versiones BPMN formaliza una semántica de ejecución de todos los elementos que lo componen. También presenta un mecanismo de extensibilidad el cual permite agregar capacidades al lenguaje (Chinosi & Trombetta, 2012).

2.3. MetaModelo (MM)

Los metamodelos se encuentran situados en el tercer nivel del estándar Meta Object Facility (MOF) (Alanen & Porres, 2004) promovido por la OMG. Los metamodelos ayudan a definir nuevos lenguajes de modelado para un dominio determinado. Con ellos se define la sintaxis abstracta de un lenguaje de modelado, también se definen los tipos que se pueden usar como objetos en un modelo por medio de clases similares a UML (Boronat & Meseguer, 2010). Adicionalmente se especifica que la base conceptual de un lenguaje de modelado se denomina metamodelo (Jouault, Allilaire, Bézuvin, & Kurtev, 2008). Consecuentemente, se puede decir que el desarrollo de metamodelos contempla una disciplina en la cual se aplica análisis, construcción, desarrollo de esquemas, reglas, restricciones y teorías aplicables en un dominio en particular.

2.4. Características/Requisitos de Seguridad

Las características de seguridad que se describirán a continuación son las siguientes: (i) detección de ataques/amenazas, (ii) control de acceso, (iii) disponibilidad, (iv)

integridad, (v) privacidad y (vi) no repudio. Estas características de seguridad han sido obtenidas desde los estudios analizados en la RSL incluyéndose aquellas que han sido mencionadas con mayor frecuencia en los artículos revisados.

2.4.1. Detección de Ataque/Amenazas: (Attack/Harm Detection):

La característica de detección de ataques/amenazas se debe implementar mediante una funcionalidad que detecte, registre y notifique los ataques o amenazas al sistema (Firesmith, 2004). Su fin es estar atento en todo momento a la seguridad del sistema.

2.4.2. Control de acceso (Access Control):

El control de acceso es el grado en que el sistema limita el acceso a sus recursos solo a sus externos autorizados (por ejemplo, usuarios humanos, programas, procesos, dispositivos u otros sistemas) (Firesmith, 2004). El control de acceso se logra implementar en los distintos sistemas, mediante la autenticación y autorización, con estas características el sistema permite a los usuarios utilizar los recursos solicitados (Turki, Bellaaj, Charfi, & Bouaziz, 2012).

2.4.3. Disponibilidad (Availability):

La disponibilidad es un aspecto importante para los sistemas de información, debido a que esta característica garantiza en el sistema la provisión y la operabilidad de un recurso solicitado (Salnitri, Dalpiaz, & Giorgini, 2014).

2.4.4. Integridad (Integrity):

La integridad asegura que los datos e información utilizados en los procesos de negocio lleguen tal cual fueron enviados (Saleem, Jaafar, & Hassan, 2012). Esto ayuda a que no ocurra la corrupción intencional de la información o los datos que se están utilizando.

2.4.5. Privacidad (Privacy):

La privacidad es una de las características más abordadas dentro de las extensiones de seguridad para BPMN. Una de las cualidades que tiene este requisito es el grado en el que un sistema logra que las partes no autorizadas no puedan obtener información confidencial (Firesmith, 2004). Otro de los aspectos que se incluye en privacidad es *need to know* (necesidad de conocimiento) esta característica hace que los usuarios solo sabrán lo mínimo de la información que están manipulando.

2.4.6. No Repudio (Non-Repudiation):

El no repudio es el aspecto de seguridad que se preocupa de la capacidad de un sistema para probar la ocurrencia/no ocurrencia de un evento, o la participación/no participación de una parte en un evento (Salnitri et al., 2014). Esta característica además ayuda a saber si las trazas de responsabilidad no han sido alteradas. En algunos casos se considera no repudio como una sub categoría de responsabilidad (*accountability*).

3. RSL sobre extensiones de seguridad para BPMN

Antes de realizar la RSL para las extensiones de seguridad se hizo una revisión que abarcó todas las extensiones que se han realizado para BPMN a partir de año 2007 (referencias en <http://colvin.chillan.ubiobio.cl/mcaro/munoz/extensiones-bpmn/>). A partir de la información obtenida en esta revisión se definió la RSL centrada en extensiones de seguridad que se detalla en esta sección. La RSL es un método que permite identificar, evaluar e interpretar toda la información disponible sobre una pregunta de investigación en particular (Kitchenham, Dyba, & Jorgensen, 2004). Consta de 3 etapas: Planificación de la revisión, Desarrollo de la revisión y Publicación de los resultados.

En las subsecciones siguientes se abordan la Planificación y Desarrollo de la revisión y en la Sección 4 se muestran los resultados de la RSL.

3.1. Identificación de la necesidad de revisión

Las diferentes propuestas para abordar la especificación de seguridad en BPMN nos plantean el desafío de encontrar la relación existente entre ellas y, si es posible, proponer una extensión unificada de seguridad para BPMN. Para ello ha sido necesario llevar a cabo una RSL en que se identifiquen todos los estudios relacionados con una extensión para el lenguaje BPMN enfocado principalmente en seguridad. De igual forma, se ha tratado de establecer el interés de la comunidad científica en relación a este tema en la última década, los requisitos representados en las distintas propuestas junto con determinar si las propuestas presentan elementos gráficos para representar los requisitos de seguridad, si se utilizan metamodelos para describir la extensión y si se considera alguna herramienta o software que apoye el modelado usando la extensión propuesta. Teniendo en cuenta lo anterior se plantean siguientes interrogantes de investigación (Q):

- Q1. ¿Cuáles son las extensiones propuestas para BPMN en relación con Seguridad?
- Q2. ¿Las extensiones modifican el lenguaje BPMN?
- Q3. ¿La extensión propuesta tiene framework y/o herramienta asociada?

3.2. Desarrollo del protocolo de revisión

Las fuentes utilizadas para realizar esta revisión sistemática fueron: *Google Scholar*, *Scopus*, *Springer Link* y *Web of Science*. Para realizar la búsqueda de los estudios primarios en las distintas fuentes se utilizaron los términos: T1:BPMN; T2:Extension; T3:Security; T4:Framework; T5:Methods y T6:Software. La búsqueda se realizó usando las 3 combinaciones que se muestran en la Tabla 1.

ID Combinación	Términos y Combinaciones
CI-1	T1 AND T2 AND T3
CI-2	T1 AND T3 AND T5
CI-3	(T1 AND T3) AND (T4 OR T6)

Tabla 1 – Combinaciones de búsqueda

Por cada fuente de búsqueda y combinación de términos, tanto en inglés como español, se seleccionaron los primeros 200 artículos si es que la consulta arrojaba más de esta cantidad de resultados. Los resultados fueron registrados en una planilla Excel y se consideró la cantidad de artículos encontrados y el número de artículos seleccionados y rechazados. Además se usó para el registro detallado de la referencia el gestor bibliográfico *Mendeley*. Se definieron criterios de inclusión y exclusión, los que se muestran en la Tabla 2, para identificar y seleccionar los artículos con los que se trabajará de manera más profunda.

Criterios de Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajos posteriores al año 2004. • Los trabajos deben presentar una extensión concreta relacionada con seguridad. • Los trabajos deben presentar un método concreto con el cual representen seguridad. • Trabajos en inglés y español.
Criterios de Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios que no traten el tema relacionado con las interrogantes de investigación. • Estudios secundarios o terciarios. • Artículos que no presenten de manera concreta una extensión o un método con el cual se represente seguridad en BPMN.

Tabla 2 – Criterios de inclusión y exclusión

Resultados de la revisión

El proceso de búsqueda de los estudios primarios que conformarán la investigación fue realizado entre los meses de marzo y junio del año 2019. En la Figura 1, se muestra un resumen del proceso de búsqueda y selección de estudios.

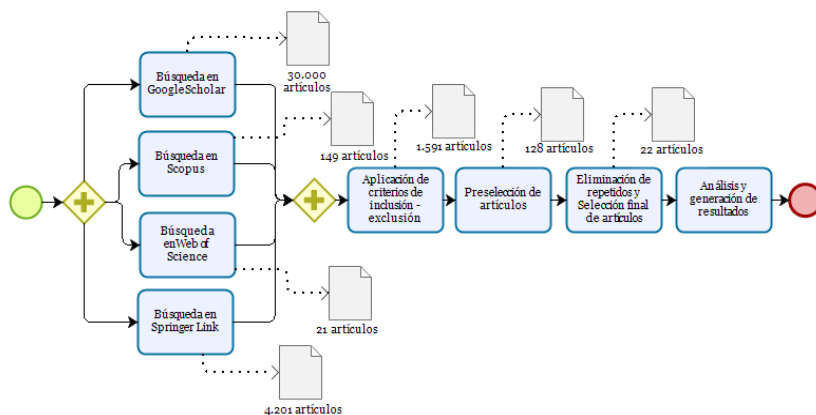


Figura 1 – Proceso de búsqueda y selección de estudios

En términos generales se realizaron un total de 24 búsquedas utilizándose las 4 fuentes de búsqueda. En 12 búsquedas se obtuvo como resultado más de 200 artículos. Con el resultado obtenido, se procedió a revisar los artículos para lo cual se hizo una lectura simplificada con el objeto de verificar si se respondía a alguna interrogante de

investigación y si estaban dentro de los parámetros de inclusión propuestos. En la primera parte del estudio fueron revisados 1.591 artículos de los cuales fueron descartados 1.373 (ver Tabla 3) debido a que no cumplían con los criterios de inclusión. Una vez obtenidos los 22 artículos finales se procedió al análisis y generación de resultados.

<i>Motor de búsqueda</i>	<i>Resultados</i>	<i>Revisados</i>	<i>Descartados</i>	<i>Pre-seleccionados</i>	<i>Seleccionados</i>
Google Scholar	30.000	1.022	918	104	12
Scopus	149	145	115	30	2
Springer Link	4.201	403	326	77	7
Web of Science	21	21	14	7	1
Total	34.371	1.591	1.373	218	22

Tabla 3 – Resultados búsqueda de artículos

Luego de realizar el proceso de búsqueda se obtuvieron 22 estudios que respondieron a la interrogante Q1. Estos son los estudios que en sí presentan una extensión en el ámbito de seguridad para el lenguaje BPMN. Dentro de los 22 trabajos que presentan extensiones de seguridad para el lenguaje BPMN, hay 12 artículos que dan respuesta a la interrogante Q2. Esto quiere decir que estos trabajos no solo presentan una extensión para BPMN sino que también modifican este lenguaje incluyendo sus propios elementos gráficos con los cuales se podrá representar las distintas características de seguridad. Finalmente 8 de los 22 artículos responden la pregunta Q3, esto quiere decir que además de presentar la extensión de seguridad al lenguaje BPMN, estos estudios proponen una herramienta o software asociado a su extensión.

4. Presentación y Análisis de Resultados

Un resumen de la información obtenida de los 22 artículos seleccionados se muestra en la Tabla 4. En la primera columna se muestra la referencia del estudio seleccionado y en las columnas siguientes se identifican los requisitos de seguridad que proponen. En las tres últimas columnas se indica si los estudios proponen un elemento gráfico para la representación de la seguridad, si presentan un metamodelo que especifique la extensión a BPMN y finalmente una columna donde se indica si el estudio presenta una herramienta con la cual se pueda implementar la extensión.

Nº	Propuesta	Ac	Acc	Av	Pr	In	Ahd	EG	MM	S/H
1	(Rodriguez et al., 2007)	x	x		x	x	x	x	x	
2	(Saleem et al., 2010)			x	x	x				x
3	(Wolter & Meinel, 2010)				x	x				
4	(Mülle et al., 2011)	x			x	x				
5	(Paja et al., 2011)	x	x			x				
6	(Marcinkowski & Kuciapski, 2012)	x			x			x	x	
7	(Saleem et al., 2012)			x	x	x		x	x	

Nº	Propuesta	Ac	Acc	Av	Pr	In	Ahd	EG	MM	S/H
8	(Yahya et al., 2012)	x			x	x			x	
9	(Turki et al., 2012)	x	x		x	x		x	x	x
10	(Brucker et al., 2012)	x			x	x				x
11	(Monakova et al., 2012)	x		x	x					x
12	(Altuhhova et al., 2012)	x			x	x		x	x	
13	(Altuhhov et al., 2013)			x	x	x		x		
14	(Labda et al., 2013)	x			x			x	x	
15	(Stavrou et al., 2014)	x			x					
16	(Salnitri et al., 2014)	x	x	x	x	x				x
17	(Charfi & Zhi, 2015)	x			x	x	x	x	x	x
18	(Sang & Zhou, 2015)	x	x		x			x	x	
19	(Maines et al., 2016)	x				x				x
20	(Pullonen et al., 2017)	x	x		x			x	x	
21	(Chergui & Benslimane, 2018)	x	x	x	x	x		x	x	
22	(Witti et al., 2018)	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Ac–Control de Acceso; Acc–Responsabilidad; Av–Disponibilidad; Pr–Privacidad; Ahd–detección de ataques/daños; EG–Presenta Elementos Gráficos; MM–Metamodelo; S/H–Presenta Software o Herramienta.

Tabla 4 – Clasificación de extensiones de seguridad para BPMN

4.1. Principales hallazgos

Los principales hallazgos se refieren a los requisitos de seguridad representados, años en que se realizan las publicaciones, uso de metamodelos, propuesta de herramientas o software y los símbolos gráficos para representar la seguridad que han sido considerados en la propuesta.

4.1.1. Requisitos de seguridad

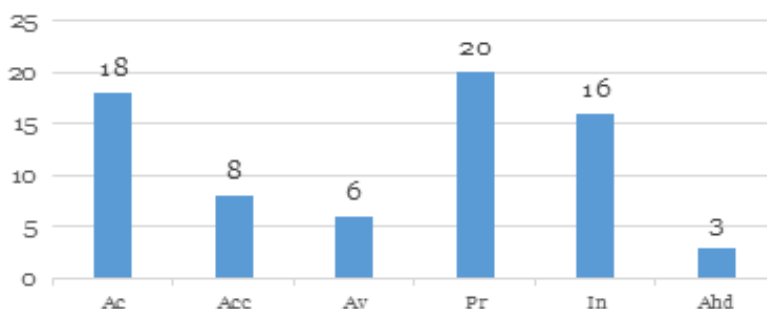


Figura 2 – Requisitos de seguridad propuestos

En la Figura 2 se muestra los requisitos de seguridad que se especifican en los estudios revisados. Cabe destacar que los requisitos de seguridad más estudiados son control de acceso, privacidad e integridad los cuales son tratados en 82% de las propuestas.

4.1.2. Año de las publicaciones

En la Figura 3, se muestran los años en que se han publicado los trabajos. Se puede apreciar que la primera publicación con respecto a una extensión de seguridad para BPMN surgió el año 2007. La cantidad de publicaciones fueron aumentando durante los años siguientes llegando a su mayor cantidad en el año 2012 donde se presentaron 7 propuestas de extensión.

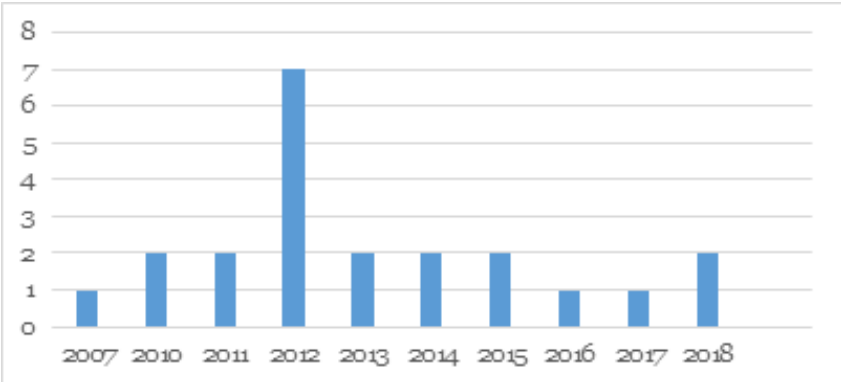


Figura 3 – Cantidad de artículos por año

4.1.3. Metamodelos y herramientas/software

En relación a la presentación del metamodelo de BPMN que incluyen las características de seguridad, se presenta la Figura 4, en esta figura podemos observar que solo el 59 % (13 trabajos) presentan metamodelos para especificar su propuesta, mientras que el resto de los trabajos (9 trabajos) no incluyen el metamodelo que indique cómo fue especificada la extensión.



Figura 4 – Artículos que presentan metamodelo

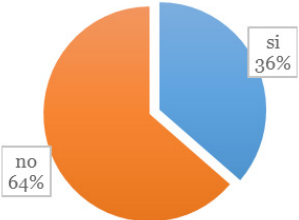


Figura 5 – Artículos que proponen herramienta/software

En la Figura 5 se muestra la cantidad de propuestas (8 propuestas) que presentan una herramienta o software con el cual se pueda implementar la propuesta.

4.1.4. Presentación de elementos gráficos

En la Tabla 5, se muestran algunos elementos gráficos utilizados en las propuestas. Por razones de espacio solo se muestra la representación gráfica del requisito de privacidad aunque en la última columna de la Tabla 5 se indican todos los requisitos que son presentados en las propuestas que utilizan símbolos gráficos para representar la seguridad.









Propuesta	Elemento gráfico	Total de requisitos prestados en la propuesta
(Rodriguez et al., 2007)		Ac; Acc; Pr; In; Ahd
(Turki et al., 2012)		Ac; Acc; Pr; In
(Monakova et al., 2012)		Ac; Av; Pr; In
(Labda et al., 2013)		Ac; Pr
(Salnitri et al., 2014)		Ac; Acc; Av; Pr; In
(Sang & Zhou, 2015)		Ac; Acc; Pr
(Chergui & Benslimane, 2018)		Ac; Acc; Av; Pr; In
(Witti et al., 2018)		Ac; Acc; Av; Pr; In; Ahd

Tabla 5 – Comparación de elementos gráficos (Privacidad)

Aunque hay 12 artículos que proponen modificar el lenguaje no todos lo hacen mediante propuestas gráficas tan concretas como las 8 propuestas que se muestran en la tabla precedente. Esto se debe a que en varias propuestas se utilizan anotaciones (*Text Annotation*) u otros elementos de BPMN a los cuales les asignan un significado adicional.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este artículo se presentó una revisión sistemática de la literatura, relacionada con el tema de extensiones de seguridad para la notación BPMN. En esta revisión fueron pesquisados numerosos trabajos que tratan extensiones de BPMN relacionadas con la seguridad de los cuales, luego de aplicados los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 22. Todos estos trabajos presentan extensiones a BPMN aunque solo 12 proponen modificaciones al lenguaje y 8 presentan su extensión respaldada con un

metamodelo. Las principales conclusiones que se pueden sacar de los resultados obtenidos se pueden resumir en que: (i) la mayoría de las propuestas considera fundamental representar al menos control de acceso, integridad y privacidad, (ii) las propuestas que incluyen metamodelos son más completas puesto que resulta más clara y se entiende mejor la especificación de las distintas características de seguridad en los respectivos elementos de BPMN, (iii) las propuestas que incluyen el uso de símbolos adicionales al lenguaje resultan más claras en la expresión de los requisitos de seguridad, (iv) pocos trabajos muestran herramientas o software que permita aplicar la extensión propuesta y (v) la expresión de seguridad en modelos de procesos de negocio es un tema que llama la atención de la comunidad científica ya que desde el primer trabajo propuesto a la fecha han seguido apareciendo nuevas propuestas.

Finalmente, como trabajo futuro, se espera proponer una extensión unificada de seguridad para el lenguaje BPMN a la que, adicionalmente, se propondrá una guía de trabajo para su uso y un prototipo funcional que permita aplicar la extensión en combinación con alguna herramientas para el lenguaje de modelado usando BPMN disponible en el mercado.

Referencias

- Alanen, M., & Porres, I. (2004). *A relation between context-free grammars and meta object facility metamodels*. Citeseer.
- Altuhhov, O., Matulevičius, R., & Ahmed, N. (2013). An extension of business process model and notation for security risk management. *International Journal of Information System Modeling and Design (IJISMD)*, 4(4), 93–113.
- Altuhhova, O., Matulevičius, R., & Ahmed, N. (2012). Towards definition of secure business processes. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 1–15. Springer.
- Boronat, A., & Meseguer, J. (2010). An algebraic semantics for MOF. *Formal Aspects of Computing*, 22(3–4), 269–296.
- Bruce, S. (2011). *BPMN Method and Style, with BPMN Implementer's Guide*. Cody-Cassidy press, Aptos.
- Brucker, A. D., Hang, I., Lückemeyer, G., & Ruparel, R. (2012). SecureBPMN: Modeling and enforcing access control requirements in business processes. *ACM symposium on access control models and technologies (SACMAT)*, 123–126. ACM Press.
- Charfi, A., & Zhi, H. (2015). Aspect-based realization of non-functional concerns in business processes. *International Conference on Networked Systems*, 140–154. Springer.
- Chergui, M. E. A., & Benslimane, S. M. (2018). A valid BPMN extension for supporting security requirements based on cyber security ontology. *International Conference on Model and Data Engineering*, 219–232. Springer.
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34(1), 124–134.

- Firesmith, D. (2004). Specifying reusable security requirements. *Journal of Object Technology*, 3(1), 61–75.
- Jouault, F., Allilaire, F., Bézivin, J., & Kurtev, I. (2008). ATL: A model transformation tool. *Science of computer programming*, 72(1–2), 31–39.
- Kitchenham, B. A., Dyba, T., & Jorgensen, M. (2004). Evidence-based software engineering. *Proceedings of the 26th international conference on software engineering*, 273–281. IEEE Computer Society.
- Labda, W., Mehandjiev, N., & Sampaio, P. (2013). Privacy-aware business processes modeling notation (prvbpmn) in the context of distributed mobile applications. *International Conference on Mobile Web and Information Systems*, 120–134. Springer.
- Maines, C. L., Llewellyn-Jones, D., Tang, S., & Zhou, B. (2015). A cyber security ontology for BPMN-security extensions. *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, 1756–1763. IEEE.
- Maines, C. L., Zhou, B., Tang, S., & Shi, Q. (2016). Adding a third dimension to BPMN as a means of representing cyber security requirements. *2016 9th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 105–110. IEEE.
- Marcinkowski, B., & Kuciapski, M. (2012). A business process modeling notation extension for risk handling. *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management*, 374–381. Springer.
- Mili, H., Jaoude, G. B., Lefebvre, É., & Tremblay, G. (2004). Going beyond MDA: Business process modeling for software reuse. *Proceedings of the Workshop on Legacy Transformation: Capturing Business Knowledge from Legacy Systems-OOPSLA, 2004*.
- Monakova, G., Brucker, A. D., & Schaad, A. (2012). Security and safety of assets in business processes. *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, 1667–1673. ACM.
- Mülle, J., von Stackelberg, S., & Böhm, K. (2011). Modelling and transforming security constraints in privacy-aware business processes. *2011 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*, 1–4. IEEE.
- OMG, B. P. M. N. (2006). Version 1.0. *OMG Final Adopted Specification, Object Management Group*, 190.
- Paja, E., Giorgini, P., Paul, S., & Meland, P. H. (2011). Security requirements engineering for secure business processes. *International Conference on Business Informatics Research*, 77–89. Springer.
- Pullonen, P., Matulevičius, R., & Bogdanov, D. (2017). PE-BPMN: privacy-enhanced business process model and notation. *International Conference on Business Process Management*, 40–56. Springer.

- Rodriguez, A., Fernández-Medina, E., & Piattini, M. (2007). A BPMN Extension for the Modeling of Security Requirements in Business Processes. En *IEICE Transactions on Information and Systems* (Vol. E90D). <https://doi.org/10.1093/ietisy/e90-d.4.745>
- Saleem, M., Jaafar, J., & Hassan, M. (2012). A domain-specific language for modelling security objectives in a business process models of soa applications. *AISS*, 4(1), 353–362.
- Saleem, M. Q., Jaafar, J., & Hassan, M. F. (2010). Model Driven Security framework for definition of security requirements for SOA based applications. *2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics*, 266–270. IEEE.
- Saleem, M. Q., Jaafar, J., & Hassan, M. F. (2012). Security modelling along business process model of SOA systems using modified “UML-SOA-Sec”. *2012 International Conference on Computer & Information Science (ICCIS)*, 2, 880–884. IEEE.
- Salnitri, M., Dalpiaz, F., & Giorgini, P. (2014). Modeling and verifying security policies in business processes. En *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling* (pp. 200–214). Springer.
- Sanchis, R., Poler, R., & Ortiz, Á. (2009). Técnicas para el Modelado de Procesos de Negocio en Cadenas de Suministro. *Información tecnológica*, 20(2), 29–40.
- Sang, K. S., & Zhou, B. (2015). BPMN security extensions for healthcare process. *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, 2340–2345. IEEE.
- Stavrou, V., Kandias, M., Karoulas, G., & Gritzalis, D. (2014). Business Process Modeling for Insider threat monitoring and handling. *International Conference on Trust, Privacy and Security in Digital Business*, 119–131. Springer.
- Turki, S. H., Bellaaj, F., Charfi, A., & Bouaziz, R. (2012). Modeling security requirements in service based business processes. En *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling* (pp. 76–90). Springer.
- Witti, H., Guegan, C. G., & Benkhelifa, E. (2018). *A Conceptual Framework of Security Requirements in Multi-cloud Environment BT - Services – SERVICES 2018* (A. Yang, S. Kantamneni, Y. Li, A. Dico, X. Chen, R. Subramanyan, & L.-J. Zhang, eds.). Cham: Springer International Publishing.
- Wolter, C., & Meinel, C. (2010). An approach to capture authorisation requirements in business processes. *Requirements Engineering*, 15(4), 359–373. <https://doi.org/10.1007/s00766-010-0103-y>
- Yahya, I., Turki, S. H., Charfi, A., Kallel, S., & Bouaziz, R. (2012). An aspect-oriented approach to enforce security properties in business processes. *International Conference on Service-Oriented Computing*, 344–355. Springer.

Dispositivo portátil com cúpula de Ganzfeld impressa em tecnologia 3D para auxílio ao diagnóstico de doenças oculares através do Eletro-oculograma clínico

Beatriz M. Santos¹, Aleandro S. Oliveira¹, Nayana L. M. Viana¹, Francisco A. Brito Filho¹

beatrizbelo56@gmail.com, aleandro10100@gmail.com, nayana.viana@ufersa.edu.br, francisco.brito@ufersa.edu.br

¹ Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica – LIEB, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, 59.780-000, Caraubas – RN, Brasil

Pages: 299–311

Resumo: Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), aproximadamente 1,3 bilhões de pessoas convivem com algum tipo de deficiência visual. Além disso, cerca de 80% dos problemas visuais poderiam ser evitados com o diagnóstico precoce e eficaz. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Cúpula de Ganzfeld confeccionada utilizando impressão 3D para o auxílio do exame clínico de Eletro-oculograma (EOG). O dispositivo desenvolvido é compatível com os padrões da Sociedade Internacional de Eletrofisiologia Clínica da Visão (ISCEV). São apresentados o projeto da cúpula e a validação do dispositivo EOG desenvolvido pelos autores, para tal, foram realizados testes em dois voluntários. Os resultados obtidos com a cúpula implementada com material de impressão 3D e sistema de aquisição de biopotencial, evidencia o seu bom comportamento, além do baixo custo e dimensões reduzidas, para a realização de exames clínicos.

Palavras-chave: Deficiência visual; Cúpula de Ganzfeld; EOG; ISCEV.

A 3D printed Ganzfeld Dome for portable clinical Electro-oculogram device

Abstract: According to the World Health Organization (WHO), approximately 1.3 billion people live with some form of visual impairment. In addition, about 80% of visual problems could be prevented with early and effective diagnosis. This paper presents the development of a Ganzfeld Dome made using 3D printing technology to aid the clinical examination of Electro-oculogram (EOG). The device developed complies with the standards of the International Society of Clinical Vision Electrophysiology (ISCEV). The Dome Design and the validation of the EOG device developed by the authors are presented. Tests were performed on two volunteers in order to validate the device. The results obtained with the dome implemented with 3D printing material and biopotential acquisition system evidences its good behavior according to the standards, besides the low cost and low profile, to perform clinical examinations.

Keywords: Visual impairment; Ganzfeld Dome; EOG; ISCEV.

1. Introdução

Ter uma visão saudável é fundamental para o bem-estar do indivíduo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, ou ainda, *World Health Organization*) [WHO] (2018), aproximadamente 1,3 bilhões de pessoas convivem com algum tipo de deficiência visual, além disso, 80 % desses casos poderiam ser evitados, desde que fossem realizados um diagnóstico precoce para um tratamento adequado.

O retardamento do diagnóstico e tratamento das doenças oculares podem levar o paciente ao estágio de cegueira. Para evitar isso, são realizados exames clínicos que identificam os diferentes tipos de disfunções oculares. Alguns desses exames são realizados por meio das medições de biopotenciais. Os biopotenciais são sinais adquiridos através de atividades fisiológicas do corpo humano, e se originam devido à diferença de potencial existente entre o interior e exterior das células semipermeáveis (Aswin & Karthik, 2014) (Bronzino, 2006). Dentre os exames responsáveis pela realização das medições dos sinais oculares se destaca o EOG (Eletro-oculograma).

O EOG é um sinal eletrofisiológico ocular que auxilia no diagnóstico de disfunções ópticas por meio do movimento do globo ocular. Nele são captados sinais eletrofisiológicos a partir dos movimentos dos olhos na horizontal e vertical (Bronzino, 2006).

Para o condicionamento e processamento desses sinais, são utilizados os blocos de captação, amplificação, filtragem e detecção dos sinais de EOG (Venkataramanan, Prabhat, Choudhury, Nemade, & Sahambi, 2005). Durante o processo de captação são observados problemas inerentes ao biosinal causados por fatores externos como, a iluminação que chega aos olhos do paciente, podendo esta não ser constante; o posicionamento dos eletrodos; e, o movimento facial involuntário do paciente (Malmivuo & Plonsey, 1995). Para reduzir esses problemas a Sociedade Internacional de Eletrofisiologia Clínica da Visão (ISCEV) determina todos os procedimentos a serem adotados, bem como, todas as fases de aquisição dos sinais do EOG. Para tal, atribui algumas normas visando uma boa captação dos sinais, como, por exemplo, a limpeza da pele antes da inserção dos eletrodos e o uso de uma Cúpula de Ganzfeld (Constable *et al.*, 2017).

A Cúpula de Ganzfeld é imprescindível na aquisição dos sinais do EOG, pois esta é responsável por boa parte do controle do exame, possibilitando uma melhora significativa no sinal do EOG adquirido (Constable *et al.*, 2017). Sendo assim, este trabalho tem como proposta desenvolver um EOG de baixo custo e portátil por meio da implementação dos blocos de condicionamento do sinal e pela fabricação de uma cúpula de Ganzfeld utilizando tecnologia de impressão 3D, de forma modular. Na seção 2 é mostrado como os sinais de EOG se comportam, bem como, os equipamentos que são utilizados para a sua aquisição em testes clínicos. Os blocos do sistema de aquisição são explanados na seção 3 e a metodologia na seção 4. A seção 5 exibe a cúpula implementada com o uso de impressão 3D e as suas dimensões. Por fim, nas seções 6 e 7 são apresentados os resultados obtidos com os testes realizados em voluntários de modo a validar o funcionamento do dispositivo de acordo com as normas, e algumas conclusões acerca do trabalho.

2. Eletro-oculograma

O estudo do EOG é baseado na diferença de potencial entre a camada mais externa e a interna do olho, sendo esta diferença de potencial caracterizada por pulsos que variam de acordo com o movimento ocular (Malmivuo & Plonsey, 1995). A Figura 1 apresenta o sinal característico do EOG. O condicionamento e/ou tratamento desses sinais é realizado a partir do desenvolvimento de um circuito elétrico e, passa pelas etapas de pré-amplificação, filtragem e amplificação.

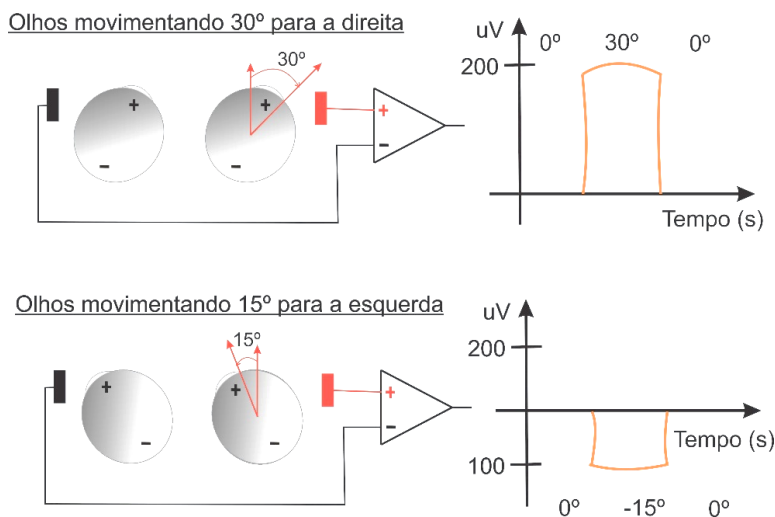


Figura 1 – Sinal característico do EOG.

O EOG é utilizado como principal parâmetro para o diagnóstico de algumas doenças oculares, principalmente àquelas associadas ao Epitélio Pigmentar Retiniano (EPR) (Munhoz, Salomão, Berezovsky, & Sacai, 2004) (Arden, Barrada, & Kelsey, 1962). O sinal de EOG pode ser utilizado também para aplicações de controle (Viana, Barbosa-Junior, J., & Brito-Filho, 2019) (Aswin, & Karthik, 2014).

Para auxiliar em um diagnóstico preciso nos testes clínicos, é utilizado o padrão ISCEV (Constable *et al.*, 2017), que determina todas as fases de aquisição do sinal EOG, desde a preparação do paciente até a obtenção dos sinais. Além disso, alguns métodos podem ser aplicados para se obter uma boa captação e adquirir um sinal livre de interferências externas. Essas interferências podem ser causadas devido ao comportamento do paciente durante o exame, uma vez que este dura aproximadamente trinta minutos, podendo causar desconforto e movimentos involuntários. Com o intuito de evitar essas causas externas, a ISCEV determina o uso de um equipamento chamado Cúpula de Ganzfeld (Constable *et al.*, 2017).

A cúpula de Ganzfeld é fundamental durante o processo de obtenção dos resultados, pois tem a finalidade de realizar o controle de luminosidade e estímulos síncronos de luz fornecidos por três diodos emissores de luz (LEDs). O primeiro LED, possui

coloração branca e deve estar centralizado, e os outros dois com luz vermelha, devem ser posicionados a uma distância de 15° cada do LED central. Além dos pontos supracitados, a cúpula ajuda na imobilização do paciente, fazendo com que ele mova apenas os olhos, e evite assim, os movimentos involuntários; e, tem a função de isolar o paciente da luminosidade causada pelo ambiente externo, melhorando assim, a qualidade dos sinais (Constable *et al.*, 2017) (Malmivuo & Plonsey, 1995). A Figura 2 apresenta diferentes tipos de Cúpula de Ganzfeld disponíveis no mercado.



Figura 2 – Diferentes modelos de Cúpula de Ganzfeld.

A Cúpula de Ganzfeld é um dos equipamentos responsáveis pelo alto custo do exame de EOG. Para transformar este, em um exame mais barato e acessível a todos, faz-se necessário o uso de outras ferramentas que reduza o seu custo final e que apresentem uma boa confiabilidade. A Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia capaz de criar objetos tridimensionais complexos depositando material camada por camada. A AM mais utilizada é a *Fused Deposition Modeling* (FDM), que consiste na fusão de um filamento de polímero, fazendo o desenho de cada camada empilhando uma sobre a outra (Pollák, Török, Zajac, Kočíško, & Telišková, 2018). Assim, por meio da impressão 3D é possível desenvolver diferentes equipamentos na área biomédica, sendo um deles, a Cúpula de Ganzfeld.

3. Sistema de Aquisição

Os sinais do EOG se originam a partir do movimento ocular, para a sua obtenção é necessário o desenvolvimento de um circuito de aquisição e condicionamento (Malmivuo & Plonsey, 1995). Na Figura 3 é possível observar o diagrama de blocos utilizados para aquisição e condicionamento dos sinais. O primeiro estágio, de pré-amplificação, é composto pelo amplificador de instrumentação e é onde há o primeiro contato do sinal

obtido com o sistema de condicionamento. O estágio de filtragem é utilizado para a redução de ruídos, e ainda, se faz necessário o uso de um segundo estágio de amplificação, onde é realizado o ajuste do ganho para uma melhor análise (Bronzino, 2006).

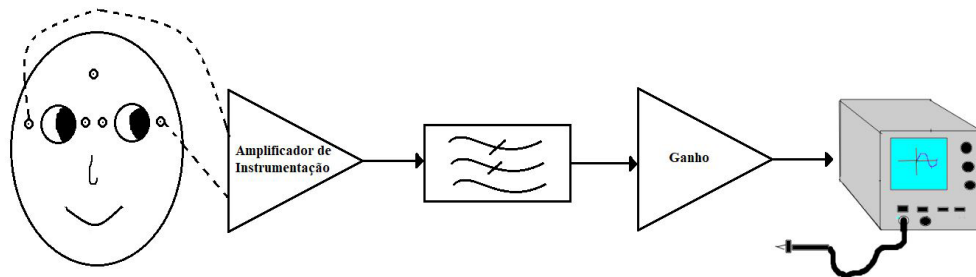


Figura 3 – Etapas de aquisição do circuito EOG.

Os dimensionamentos dos componentes do circuito eletrônico foram projetados de acordo com os critérios estabelecidos em literatura. Os circuitos *a priori* foram simulados em *software*, e em seguida, implementados em *protoboard* para validação comportamental, e por fim, o circuito foi confeccionado em placa de circuito impresso (PCB) com uma fonte simétrica de bateria para alimentação do mesmo. Os estágios que compõem o circuito de aquisição e/ou condicionamento são descritos a seguir.

3.1. Estágio de Pré-Amplificação

O primeiro estágio do circuito de aquisição é o da pré-amplificação. Para tal, foi utilizado o amplificador de instrumentação AD623 da *Analog Devices* e definido um ganho de 1,5 dB. Nesse estágio é necessário utilizar um ganho baixo para evitar a saturação do sinal de saída (Cardoso, Arrais-Junior, & Almeida, 2017) (Kanwade, Gone, Ahire, & Borkar, 2017). De acordo com o fabricante, o cálculo do ganho do AD623 é definido pela Equação (1) e, algebricamente o resistor responsável pelo ganho (R_g) é definido pela Equação (2).

$$G = \frac{100K}{R_g} + 1 \quad (1)$$

$$R_g = \frac{100K}{G - 1} \quad (2)$$

3.2. Filtragem

Na etapa de filtragem foi implementado um filtro passa-baixas *Sallen-Key* de segunda ordem com aproximação *Butterworth*, para tal, foi utilizado o amplificador operacional. Nesta segunda etapa, foi definida uma frequência de corte de 30 Hz e determinado o valor da resistência de acordo com a Equação (3) (Pertence Jr, 2015).

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3)$$

3.3. Amplificação

A terceira etapa do circuito de condicionamento é a de amplificação. Nesta etapa foi utilizado um amplificador do tipo não inversor devido o mesmo não apresentar defasagem no sinal de saída, além do que o ganho dessa estrutura pode ser controlado pelo circuito de realimentação negativa (Cardoso *et al.*, 2017). Um *trimpot* de 100 kΩ foi utilizado como resistor de realimentação (Rf). O outro resistor (R4) pode ser encontrado utilizando a Equação (4) (Pertence Jr, 2015).

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_4} \quad (4)$$

3.4. Fonte de Alimentação

Após o desenvolvimento do circuito de aquisição foi projetada uma fonte simétrica para a alimentação do circuito utilizando uma bateria de 9 V. A fonte de alimentação foi projetada tendo como objetivo eliminar as interferências causadas por uma fonte de tensão conectada diretamente a rede.

O desenvolvimento da mesma se deu por meio de um divisor de tensão, fazendo o uso de resistências iguais. Devido à simetria utilizada para alimentação dos amplificadores, além dos resistores, foram adicionados capacitores para redução dos ruídos.

3.5. Circuito Final

A Figura 4 apresenta o esquemático final do circuito com os valores dos componentes calculados em cada estágio.

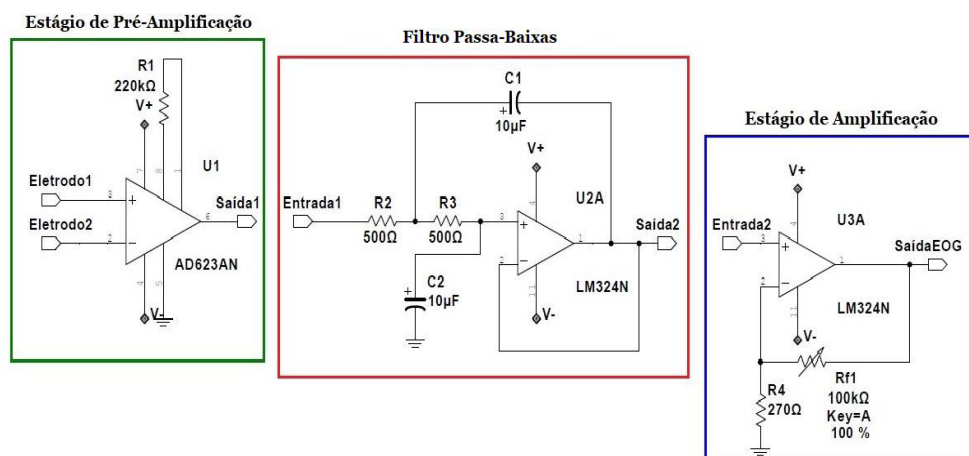


Figura 4 – Esquemático do circuito EOG.

A partir do esquemático e após a simulação e validação do sistema, foi desenvolvido o circuito EOG na placa de circuito impresso como mostrado na Figura 5.

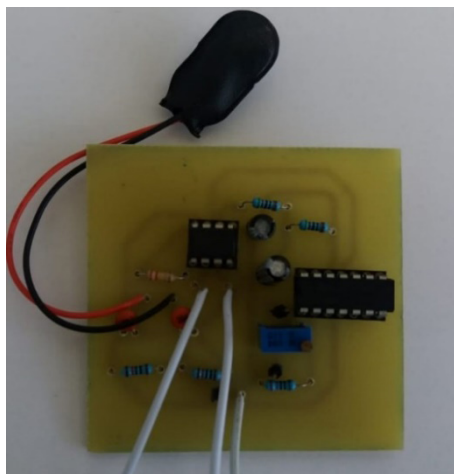


Figura 5 – Circuito EOG.

No estágio de pré-amplificação, foi calculado de acordo com a Equação (2) um resistor (R_g) de aproximadamente $220\text{ k}\Omega$. Na segunda etapa, foi estabelecido para o filtro passa-baixas um ganho unitário. Como mencionado, a frequência de corte definida para o projeto foi de 30 Hz . Por meio da Equação (3), pode-se calcular os seguintes valores: capacitores eletrolíticos fixos de $10\text{ }\mu\text{F}$, e resistências de $500\text{ }\Omega$.

Por fim, no estágio de amplificação foi determinada uma resistência R_4 de $270\text{ }\Omega$ e, por meio da Equação (4), foi obtido um ganho ajustável de até 372 dB . Sendo assim, o circuito EOG adquire um ganho final de até 558 dB . Para o bloco da fonte de alimentação, como mencionado, foram utilizados valores de resistências e capacitâncias iguais, para a implementação da fonte simétrica.

Após a confecção da placa, foi dado início aos testes de aquisição do sinal de EOG.

4. Metodologia

Os testes e registros do EOG são determinados pelos padrões ISCEV e são definidos em três etapas: pré-calibração, fase escotópica e fase fotópica. O fluxograma mostrado na Figura 9 detalha as etapas do teste.

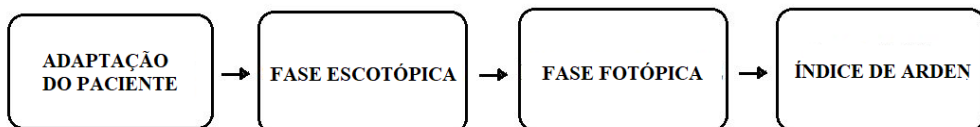


Figura 9 – Etapas de testes do EOG.

A fase de pré-calibração, ou ainda, fase de adaptação do paciente, é o momento onde o paciente é informado sobre todas as etapas do exame, e também, onde são realizados testes com os estímulos na cúpula, para familiariza-lo em relação aos procedimentos que deverão ser seguidos para a validação do teste. Nesta etapa, o indivíduo deve permanecer sob uma determinada incidência de luz constante, por isso faz-se necessário o uso da Cúpula, tendo em vista que esta auxilia nesse controle de luminosidade. Esta luminosidade encontra-se na faixa de 35 a 70 lux e, é o momento destinado para o paciente realizar os devidos movimentos dos olhos para um treinamento, conforme orientado anteriormente. Além disso, fazem parte desta fase o preparo da pele e a alocação dos eletrodos para captação dos sinais (Constable *et al.*, 2017).

Na fase escotópica é quanto de fato se inicia a coleta de dados, o paciente é exposto a uma escuridão total. Ao realizar os movimentos oculares a amplitude tenta diminuir de nível gradualmente até atingir o pico mínimo da fase Escotópica (DT, do inglês *Dark trough*). Ao identificar o DT, o teste desta fase pode ser interrompido. O ISCEV determina que essa fase tenha duração de no máximo 15 minutos, sendo esse um tempo satisfatório para a obtenção do DT (Constable *et al.*, 2017).

A última etapa do teste é a fase fotópica e trata da adaptação do paciente à luz. Durante essa fase o paciente é exposto a uma iluminação constante, a amplitude do sinal tenta aumentar gradualmente de nível até atingir um pico máximo (LP, do inglês *Light peak*). Assim como para a fase escotópica, a ISCEV determina uma média de 15 minutos para essa etapa, porém, o teste pode ser finalizado assim que o LP for detectado (Constable *et al.*, 2017).

As fases fotópica e escotópica são fundamentais para determinar a existência de problemas oculares, uma vez que a razão entre elas resulta no Índice de Arden (IA) (Munhoz *et al.*, 2004) (Arden *et al.*, 1962). Para diagnosticar se um indivíduo tem distúrbios oculares, o IA deve ser menor que 1,7 (Constable *et al.*, 2017).

5. Cúpula de Ganzfeld

A Cúpula de Ganzfeld foi modelada em um *software* CAD e inteiramente impressa em 3D utilizando uma impressora Prusa i3 MK2 e dois tipos diferentes de materiais na impressão: Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e Polilático (PLA). Na Figura 6 é possível verificar toda a estrutura da cúpula, dividida em módulos.

A estrutura é modular constituída por: uma base, uma coluna de blocos intercambiáveis que auxiliam na regulação da altura, uma “camisa” para aumentar a rigidez dessa coluna e um apoio para o queixo. Ao todo a cúpula é formada por 8 pequenas partes, e outras peças, que fazem a junção do apoio para o queixo, a cúpula (onde são posicionados os estímulos luminosos) e a coluna principal. A estrutura modular é de fácil montagem ou desmontagem, ocupando pouco espaço e facilitando o seu transporte.

A Figura 7 apresenta toda a estrutura da cúpula de Ganzfeld desmontada pronta para o manuseio, com uma altura de 0,13 m, largura de 0,3 m e profundidade 0,22 m.

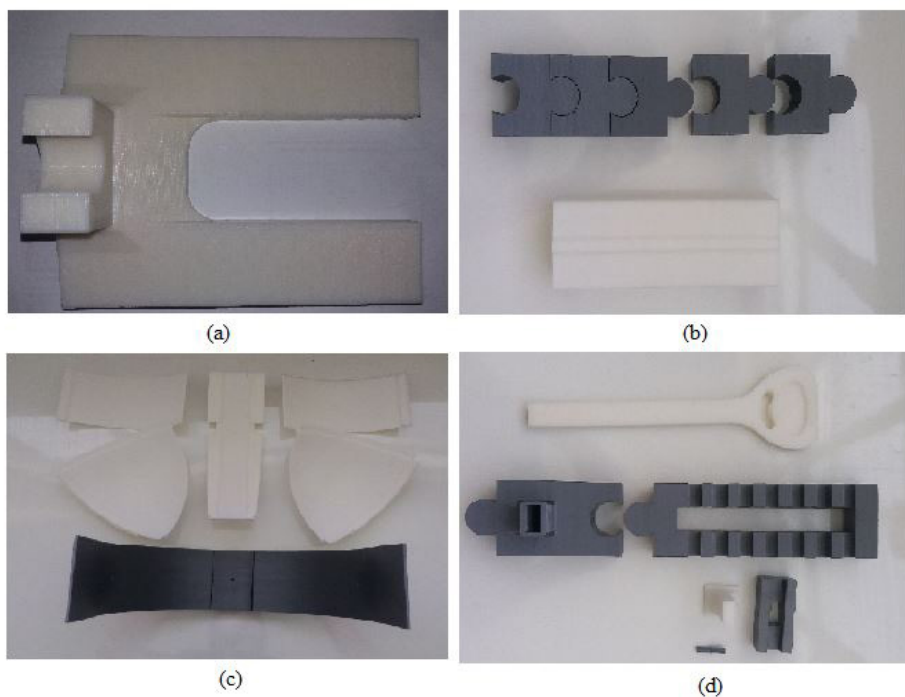


Figura 6 – Constituição da Cúpula de Ganzfeld: (a) base; (b) coluna de blocos intercambiáveis; (c) estrutura da cúpula; (d) suporte para o queixo e conexões.

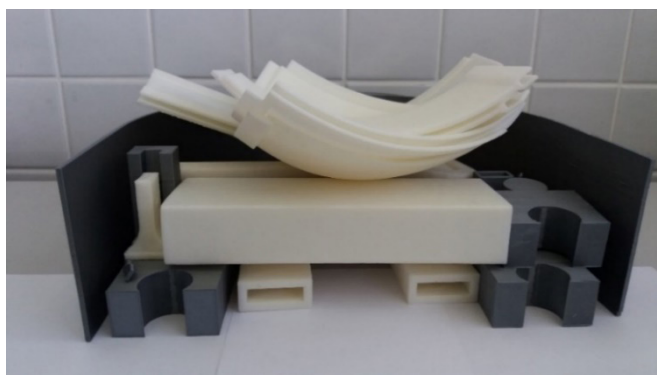


Figura 7 – Cúpula de Ganzfeld desmontada.

A Figura 8 mostra a estrutura da cúpula de Ganzfeld montada após o encaixe dos módulos.



Figura 8 – Cúpula de Ganzfeld desenvolvida em impressão 3D.

6. Resultados e Discussões

A partir das diretrizes estabelecidas pela ISCEV, foram realizados testes com alguns voluntários do Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica da UFERSA. Os voluntários foram submetidos às três etapas do teste do EOG, no qual obteve-se os seus respectivos valores de amplitudes para as fases fotópica e escotópica. Na Figura 10 pode ser observado o teste realizado em um voluntário.



Figura 10 – Testes do EOG.

A Figura 11 ilustra o formato de onda do sinal de saída do EOG conforme é realizado o movimento ocular para direita e para esquerda. Os testes do EOG foram realizados inicialmente na fase escotópica até atingir o DT, e posteriormente a fase fotópica até atingir o LP.

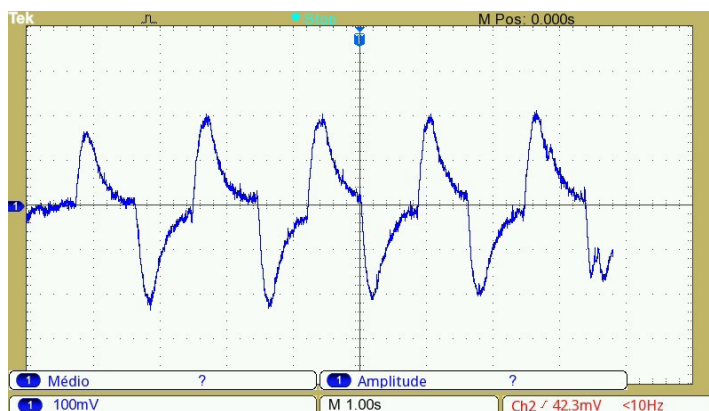


Figura 11 – Forma de onda do sinal EOG.

Na figura 12 pode ser observado o comportamento obtido pelo sinal EOG em função do tempo nas fases escotópica e fotópica para o voluntário 1. O menor valor de pico de tensão foi de 82 mV para a fase DT, e o maior valor de pico de tensão foi de 195 mV para fase LP.

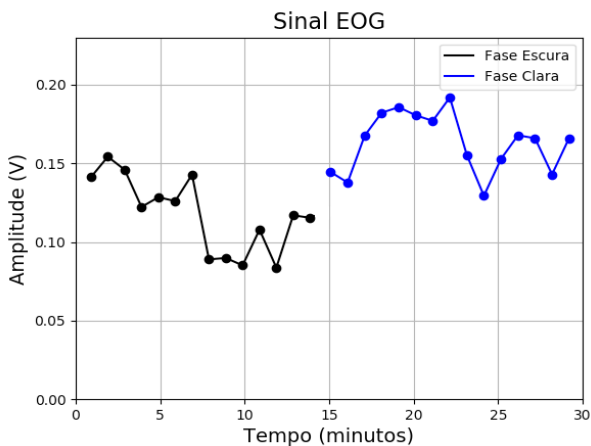


Figura 12 – Sinal EOG em função do tempo para o voluntário 1.

A Figura 13 mostra o sinal EOG em função do tempo na fase escotópica e fotópica para o voluntário 2. O menor pico de tensão foi de 95 mV para a fase DT, e o maior pico de tensão foi de 250 mV para fase LP.

Para validação, faz-se necessário calcular o Índice de Arden para ambos os voluntários. Os valores obtidos podem ser verificados na Tabela 1.

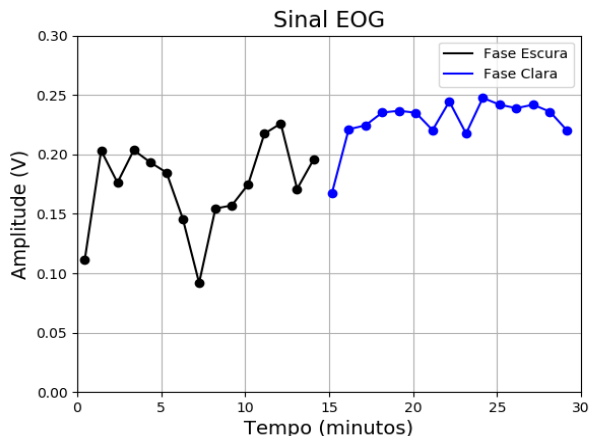


Figura 13 – Sinal EOG em função do tempo para o voluntário 2.

	DT (mV)	LP (mV)	Índice de Arden
Voluntário 1	82	195	2,37
Voluntário 2	95	250	2,63

Tabela 1 – Índice de Arden.

7. Conclusão

Este trabalho apresenta o desenvolvimento um dispositivo para aquisição dos biopotenciais de eletro-oculograma e uma Cúpula de Ganzfeld de baixo custo. Durante o processo de implementação do dispositivo de aquisição do EOG foram realizadas inicialmente simulação com o uso de *software*, fabricação de PCB e testes experimentais para validação do sistema. Na sequência, foi confeccionada uma cúpula de Ganzfeld utilizando material de impressão 3D, o que reduziu os custos de fabricação da mesma e, possibilitou que esta fosse totalmente modular, sendo assim, de fácil manipulação para montar e desmontar, possibilitando o seu transporte para diferentes locais. Por fim, foram realizados testes para validação seguindo as normas estabelecidas pela ISCEV com ambos os dispositivos implementados. Com base no que foi apresentado, o desenvolvimento do sistema de aquisição de sinal associado a Cúpula de Ganzfeld projetada em impressão 3D, torna o EOG um dispositivo de baixo custo que apresenta bons resultados condizentes com o esperado em literatura, possibilitando assim, uma acessibilidade maior ao exame e um resultado rápido e eficaz para auxiliar no diagnóstico de doenças oculares.

Referências

- Arden, G. B., Barrada, A., & Kelsey, J. H. (1962). New clinical test of retinal function based upon the standing potential of the eye. *The British journal of ophthalmology*, 46(8), 449.
- Aswin, R. V., & Karthik, R. V. (2014). EOG based low cost device for controlling home appliances. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(3), 708-711.
- Bronzino, J. D. (2006). *The Biomedical Engineering Handbook* (3th ed.). Flórida: Boca Raton.
- Cardoso, L.F., Arrais-Junior, E., & Almeida, N.C. (2017). Disposal Techniques of Offset Applied to Biomedical Instrumentation. In *CHIP on the sands: 17th Microelectronics Students Forum*. Brasil, Fortaleza: IEEE publishing.
- Constable, P. A., Bach, M., Frishman, L. J., Jeffrey, B. G., Robson, A. G., & International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. (2017). ISCEV Standard for clinical electro-oculography (2017 update). *Documenta Ophthalmologica*, 134(1), (pp. 1-9). Springer Nature.
- Kanwade, A. B., Gone, R. V., Ahire, S. J., & Borkar, A. R. (2017). Study of EOG signal generation, Analysis, and acquisition system. In *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(4), (pp. 3378- 3382).
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric*. (1th ED.). New York, Oxford: Oxford University Press.
- Munhoz, J. S., Salomão, S. R., Berezovsky, A., & Sacai, P. Y. (2004). Padronização normativa de eletro-oculografia em adultos. *Arq Bras Oftalmol*, 67(2), 207-10.
- Pertence Jr, A. (2015). *Amplificadores operacionais e filtros ativos*. (8th ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Pollák, M., Török, J., Zajac, J., Kočiško, M., & Telišková, M. (2018). The Structural Design of Printing via the Robotic Arm ABB IRB 140. In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 194-198). IEEE, Singapore.
- Venkataramanan, S., Prabhat, P., Choudhury, S.R., Nemade, H.B., & Sahambi, J.S. (2005). Biomedical Instrumentation based on Electrooculogram (EOG) Signal Processing and Application to a Hospital Alarm System. In *Proceedings of ICISIP*, (pp 535-540). Chennai, Índia: IEEE publishing.
- Viana, N. L., Barbosa-Junior, J. A. L., & Brito-Filho, F. A. (2019). Micro-controlled EOG Device for Track and Control Military Applications. In *Developments and Advances in Defense and Security* (pp. 149-157). Springer, Singapore.
- World Health Organization. (2018). Blindness and vision impairment. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.

HSSMatch: Modelo Híbrido para Semantic Schema Matching em Arquiteturas Orientadas a Microsserviços

Paulo Renato Soares Borges¹, Ismar Frango Silveira¹

p.borges@outlook.com, ismarfrango@gmail.com

¹ Universidade Presbiteriana Mackenzie, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Elétrica e da Computação, São Paulo, Brasil.

Pages: 312–323

Resumo: Os ecossistemas de software desenvolvidos mais recentemente com estilo arquitetural de microsserviços possuem como características específicas sistemas e dados distribuídos em diferentes fontes, o que dificulta o gerenciamento dos dados pelas empresas. Sendo os modelos conceituais do mundo real diferentes entre os sistemas, problemas como a integração dos dados e a comunicação entre os microsserviços implicam na necessidade de matching entre esquemas e mensagens. A literatura mostra problemas de matching como a alta heterogeneidade semântica dos dados, o tamanho do espaço de busca e as atualizações constantes dos esquemas; e evidencia como lacunas a acomodação de alterações nas estruturas de dados, interfaces de usuários inadequadas e escassez de abordagens para uso prático. Este estudo apresenta arquitetura do modelo HSSMatch que prevê capacidade de suportar atualizações estruturais, redução do espaço de busca e interação adequada de usuário para validação humana no processo de schema matching em microsserviços reais.

Palavras-chave: modelo híbrido; schema matching; microsserviços; redução espaço de busca.

HSSMatch: Hybrid Model for Semantic Schema Matching in Microservice-Oriented Architectures

Abstract: The most recently developed software ecosystems with a microservice architectural style have specific features, systems and data distributed across different sources, making it difficult for companies to manage data. Since real-world conceptual models differ among systems, problems such as data integration and communication between microservices imply the need for matching between schemas and messages. The literature shows matching problems such as high heterogeneity of semantic data, search space size and constant schema updates; and highlights as gaps the accommodation of changes in data structures, inadequate user interfaces and scarcity of approaches for practical use. This study presents the architecture of the HSSMatch model, which estimates the capacity to support structural upgrades, search space reduction and adequate user interaction for human validation in the real microservice schema matching process.

Keywords: hybrid model; schema matching; microservices; search space reduction.

1. Introdução

A propagação de grandes quantidades de dados e do estilo arquitetural de microsserviços implica na necessidade de realização de *matching* entre esquemas de dados. Em microsserviços, cada serviço realiza o gerenciamento de seu próprio banco de dados, sendo necessárias a integração dos dados e a comunicação entre esses microsserviços (Lewis & Fowler, 2014). Na realização de *schema matching* as aplicações para Big Data com esquemas constituídos por milhares de elementos e fontes de dados acarretam em alta complexidade (Rahm & Peukert, 2018).

O *schema matching* visa à determinação de elementos correspondentes semanticamente em dois ou mais esquemas (Rahm & Bernstein, 2001) e vem sendo tratado em diversos estudos que apresentam definições semelhantes para o termo e referem à sua essencialidade na integração e interoperabilidade de dados em diversificados domínios (Rahm & Bernstein, 2001; Bohannon, 2006; Do & Rahm, 2007; Chien & He, 2010; Berlin & Motro, 2013; Kettouch et al., 2017; Rahm & Peukert, 2018). Um esquema consiste em uma estrutura formal que representa um artefato, como por exemplo: um diagrama de entidade-relacionamento, um esquema SQL/XML, uma ontologia, uma definição de formulário ou de interface (Bernstein, Madhavan & Rahm, 2011).

O *schema matching* tem um papel essencial em diversas aplicações, como: *data warehouse*; evolução e migração de esquemas; integrações Web e de esquemas; evolução das aplicações; desenvolvimento de software baseado em componentes; criação e gestão de web sites; e-commerce; armazenamento eletrônico de dados e design de banco de dados (Rahm & Bernstein, 2001). Além disso, pode ser empregado em aplicações na web semântica, na área de ciências da vida e no alinhamento de formatos de mensagens de comunicação entre sistemas de software (Bernstein, Madhavan & Rahm, 2011). Outras abordagens de *schema matching* utilizam vários fatores no processo de *matching* e denominam-se *matchers* híbridos (Kettouch et al., 2017).

O *match* em grande escala implica a necessidade de redução do espaço de busca para melhorar a eficácia e eficiência desse processo (Alani & Saad, 2017). Considerando o processo de *schema matching* de dois esquemas em larga escala, este estudo pretende responder à seguinte questão: é possível melhorar a eficiência e eficácia do *schema matching* se utilizada uma abordagem híbrida que acomode alterações nos dados e empregue a redução do espaço de busca, além da combinação de *matchers* em nível de instâncias e de esquemas?

Além desta introdução, na segunda seção este estudo aborda os conceitos envolvidos, bem como suas definições de acordo com a literatura pertinente. Na seção 3 estão os objetivos deste estudo e a metodologia utilizada. A quarta seção traz a arquitetura do modelo híbrido de *semantic schema matching*. Por último, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. Marco conceitual

Nesta seção estão conceitos envolvidos neste estudo, como a definição de *schema matching*, microsserviços e Big Data, e como essas abordagens têm impactado no gerenciamento de esquemas de dados.

2.1. Schema Matching

Conforme já referido, *schema matching* é o problema de gerar correspondências entre elementos de dois esquemas, como exemplo, S1 e S2 (Figura 1) (Bernstein, Madhavan & Rahm, 2011). Para Shvaiko e Euzenat (2005), o *matching* é uma operação dispendiosa realizada em vários domínios, tais como integração de esquema/ontologia, mediação de consulta, web semântica etc. Cada um desses esquemas é um conjunto de entidades discretas que, após essa operação, determinam como saída a relação entre essas entidades.

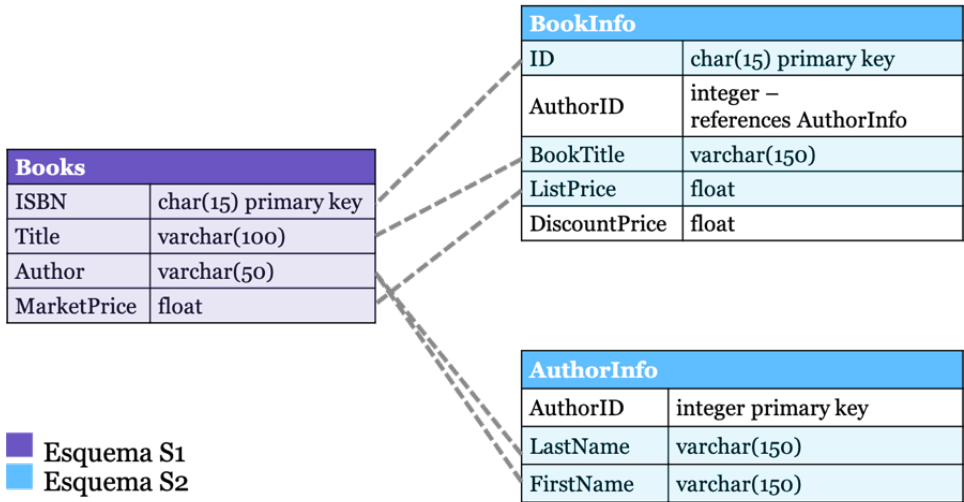


Figura 1 – Exemplo de *schema matching* entre os esquemas S1 e S2, adaptado de Bernstein; Madhavan & Rahm (2011).

De acordo com Hao *et al.* (2012), o *schema matching* corresponde os elementos de dois esquemas de entrada, com base na semântica que possuem, gerando um mapeamento entre esses elementos. Para Alqarni e Pardede (2013), os resultados de *schema matching* auxiliam na integração de esquemas quando são explorados recursos como, por exemplo: nomes de elementos, relação de hierarquia, cardinalidades, tipo de dados, anotações, dentre outros. No entanto, a realização de *matching* entre esquemas de dados no estilo arquitetural de microsserviços é um processo de alta complexidade.

2.2. Microsserviços

A maior parte dos sistemas inicialmente eram arquitetados de forma monolítica, mas com limitações que estimularam a exploração do estilo arquitetural de microsserviços em sistemas corporativos, no processo de definição de arquitetura de software. Trata-se de projetar e construir sistemas de software como um conjunto de pequenos serviços independentes, com base em recursos de negócios, executando seu processo de forma própria e comunicando entre si por meio de mecanismos leves (Figura 2) (Lewis & Fowler, 2014).

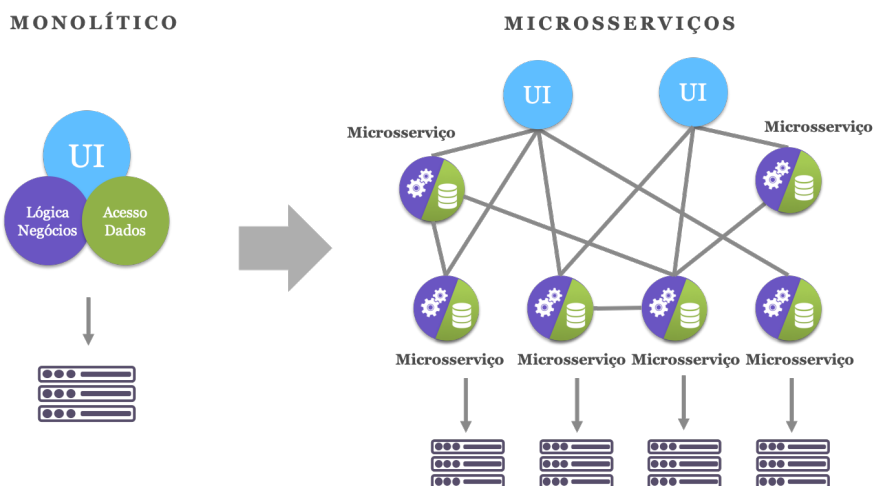


Figura 2 – Arquitetura monolítica e arquitetura de microsserviços.

Os microsserviços priorizam o gerenciamento de seu próprio banco de dados, e nesse tipo de arquitetura encontram-se presentes características comuns, por exemplo: *deploy* automatizado; inteligência em *endpoints*, organização e capacidade comercial; controle descentralizado de dados; diferentes linguagens de programação e tecnologias (Lewis & Fowler, 2014). A realização de *schema matching* envolvendo esquemas com grandes quantidades de dados no estilo arquitetural de microsserviços se torna complexa. Isto porque as aplicações para Big Data tem esquemas formados por muitos elementos e fontes de dados (Rahm & Peukert, 2018).

2.3. Big Data

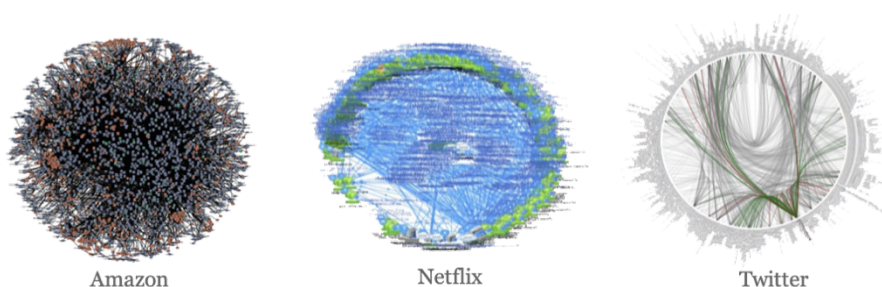


Figura 3 – Exemplos de arquiteturas de microsserviços.

O fenômeno de técnicas de Big Data deriva da capacidade de gerar e coletar dados digitais em larga escala em uma diversidade de domínios, e da necessidade de analisar esses dados em diferentes seguimentos da sociedade. Como exemplos, podem ser citados, texto e documentos da Web, comércio eletrônico em grande escala; registros

médicos; redes sociais; dentre outros (Dong & Srivastava, 2013). Boyd e Crawford (2012) definiram Big Data como um fenômeno tecnológico, cultural e acadêmico baseado na interação de tecnologias e análise de dados de grandes conjuntos de dados provenientes de diversificadas fontes. A Figura 3 exhibe as estrelas da morte de diferentes ecossistemas de microsserviços que produzem e consomem grande quantidade de dados.

3. Proposta de Pesquisa

Nesta seção constam a proposta de pesquisa com delineamento da hipótese, objetivo e metodologia de pesquisa.

Tem-se como problemas de pesquisa a velocidade de atualização das estruturas de dados e a rapidez do lançamento de novas funcionalidades, atreladas à alta heterogeneidade semântica dos dados e ao tamanho do espaço de busca, bem como as interfaces de usuários inadequadas para análise e validação dos resultados de correspondências e escassez de abordagens para uso prático.

3.1. Questão de Pesquisa

A literatura sobre o processo de *schema matching* de dois esquemas em larga escala levou à construção da hipótese deste estudo: é possível melhorar a eficiência e eficácia do *schema matching* se utilizada uma abordagem híbrida que acomode alterações nos dados e empregue a redução do espaço de busca, além da combinação de *matchers* em nível de instâncias e de esquemas?

3.2. Objetivo

O objetivo da investigação aqui referida é apresentar a arquitetura do HSSMatch, um modelo híbrido de *semantic schema matching*, com proposta de melhorar a eficiência e eficácia no processo de *matching*, de modo a auxiliar a integração de dados em microsserviços reais, suportar atualizações estruturais dos dados, reduzir o espaço de busca e utilizar uma combinação de *matchers* em nível de esquema e em nível de instâncias.

3.4. Metodologia de Pesquisa

A proposta metodológica da investigação aqui apresentada se baseia nos princípios da pesquisa qualitativa e exploratória, no sentido de formular novas hipóteses em relação ao problema colocado, contribuindo para pesquisas nesse campo. Para sua consecução são cumpridas três etapas. Na primeira, uma avaliação de técnicas de redução do espaço de busca, visto que o *schema matching* em larga escala requer milhares de comparações e leva muito tempo para ser executado, o que compromete a eficiência e a eficácia desse processo. É essencial, portanto, utilizar no modelo híbrido de *semantic schema matching* neste estudo técnicas adequadas como particionamento de esquemas e paralelismo, conforme postulado por Rahm e Peukert (2018). Na segunda etapa dessa pesquisa, está sendo feita a avaliação de abordagens de *matchers* em nível de esquema e de instância, e sobre como a integração de *matchers* pode ser efetuada de forma a obter melhoria nas dimensões de eficiência e eficácia no *semantic schema matching*. Para

Rahm e Bernstein (2001), ao fazer a combinação de várias abordagens em um *matcher*, se tem maior probabilidade de mostrar mais candidatos bons em relação ao que utiliza somente uma abordagem. A terceira etapa é dedicada para arquitetar e apresentar um modelo híbrido de *semantic schema matching* com capacidade de suportar alterações nos conteúdos, nas estruturas e na organização dos esquemas de microsserviços.

4. HSSMatch - Um Modelo para *Semantic Schema Matching*

A arquitetura do modelo HSSMatch referida neste estudo tem como público alvo, para sua utilização, profissionais e pesquisadores que atuam na área de integração de dados e comunicação entre sistemas de *software* a partir da troca de mensagens. Esse modelo tem como propósito o *schema matching* de grandes esquemas e foi baseado na arquitetura genérica de *schema matching* de Rahm e Bernstein (2001).

Os clientes do modelo HSSMatch poderão ser aplicações referentes a esquemas de diferentes domínios, como: esquemas de data *warehouse*, esquemas de portais, esquemas de microsserviços, esquemas de e-commerce e esquemas de *database design*. A Figura 4 apresenta a arquitetura do modelo híbrido de *semantic schema matching* e seu *workflow* composto por quatro fases: “1ª Fase - Conversão”, “2ª Fase - Particionamento (Busca de fragmentos similares)”, “3ª Fase - *Matching* paralelo” e “4ª Fase - Combinação e Validação Final”.

Na “1ª Fase - Conversão” do processo de *schema matching*, como se observa na Figura 4, a arquitetura do HSSMatch mostra que são importados dois esquemas de entrada S1 e S2 que podem ser de variados domínios e formatos; e seus dados de instância, de modo a preservar a semântica de seu conteúdo. Esses dois esquemas serão traduzidos pelo “Conversor representação externa/interna” para um formato de processamento interno. Essa fase está sendo fundamentada em Rahm e Bernstein (2001), que evidenciam que, em um processo de *schema matching*, na representação interna, trabalham ferramentas fortemente integradas com o *framework*. Para esses pesquisadores, conversores de importação são necessários para preservar a semântica e traduzir a representação de esquemas nativos para a representação interna, como por exemplo, em arquivos XML, SQL ou UML. Assim, o processo de *schema matching* operará exclusivamente na representação interna dos esquemas.

Após a importação e conversão desses dois esquemas, visando reduzir o espaço de busca, a “2ª Fase - Particionamento (Busca de fragmentos similares)” do *workflow* do modelo proposto será iniciada. Nessa fase, subesquemas de um tipo específico, fragmentos, serão determinados e comparados uns com os outros para identificação dos fragmentos mais similares do outro esquema. Ainda nesta fase, com base nessa identificação de similaridade das raízes dos fragmentos, será realizado um “*match* (S1, S2) de peso leve, baseado na similaridade das raízes dos fragmentos” para o particionamento desses dois esquemas. Os fragmentos mais similares serão submetidos ao *matching* na terceira fase. Para Rahm e Peukert (2018), a busca de fragmentos semelhantes é feita por meio do *match* leve baseado na similaridade dos fragmentos originais. Trata-se de uma abordagem que objetiva particionar os dados em menores porções, o que facilita o processo de *match* entre os atributos (Alani & Saad, 2017).

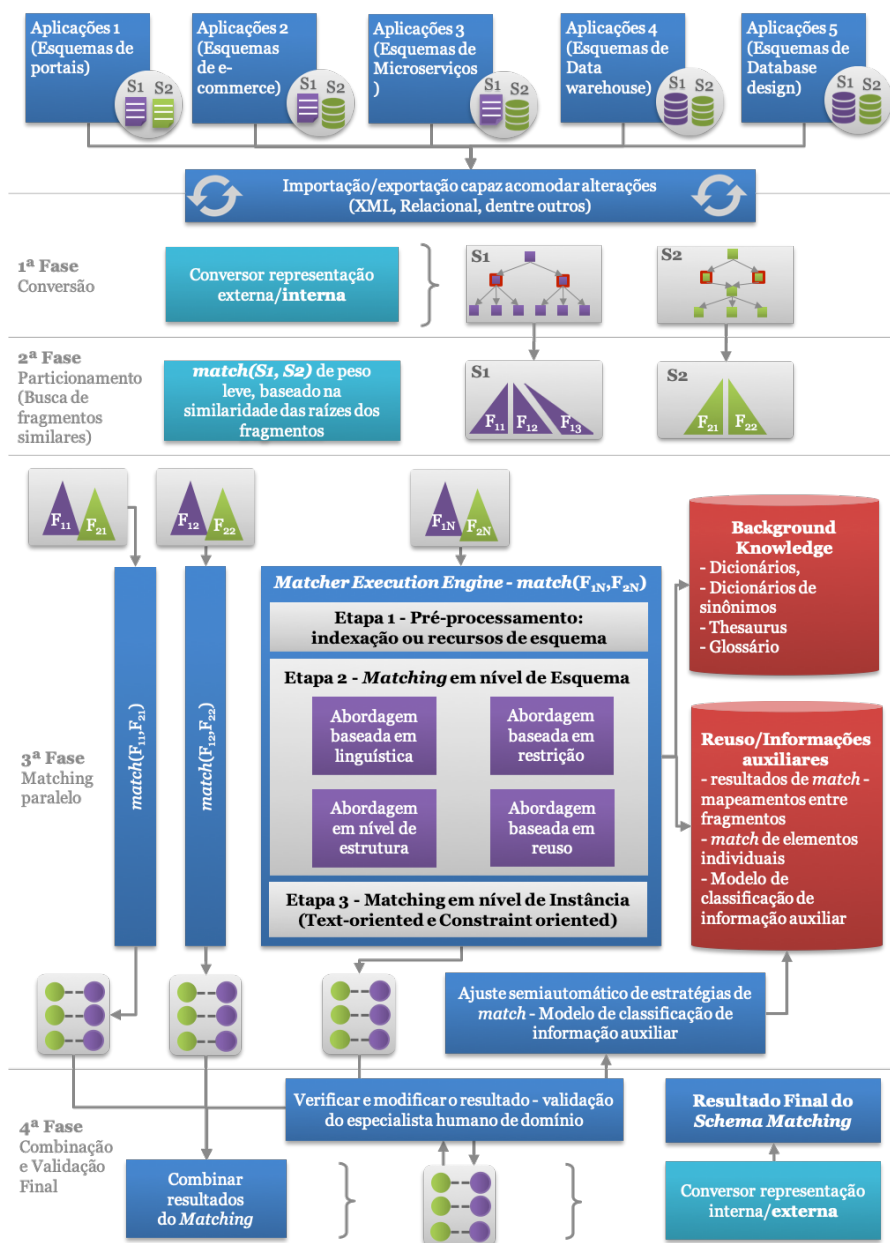


Figura 4 – Arquitetura do Modelo Híbrido de *Semantic Schema Matching* (HSSMatch).

Conforme se observa na “3ª Fase - Matching paralelo” do *workflow* de *schema matching* proposta para o HSSMatch, serão realizados os *matching* individuais dos

pares de fragmentos similares dos esquemas S_1 e S_2 , que foram determinados na fase anterior. Por meio da “*Matcher Execution Engine - match(F1N, F2N)*” que determina as estratégias de *matching*, serão realizados *matching* individuais em paralelo.

Essa fase de match proposta está baseada em Rahm e Peukert (2018). Para esses autores, o *matching* baseado em fragmentos faz a correspondência entre os pares de fragmentos similares de forma independente, a fim de distinguir correspondências entre seus elementos. Corroborar também nessa fase o trabalho de Bernstein, Madhavan e Rahm (2011), que definem o *matching* baseado em partição como uma estratégia de divisão e conquista. Para esses autores, esse tipo de *matching* objetiva reduzir o espaço de busca, visto que nessa abordagem cada partição do primeiro esquema é correspondida com apenas um subconjunto das partições do segundo esquema. De acordo com Bellahsène; Bonifati e Rahm (2011), o *matching* de diferentes partições dos esquemas realizado em paralelo apresenta vantagens, podendo ser feito em diferentes etapas do *matching*. Esse tipo de *matching* reduz requisitos de memória e melhora a eficiência, se comparado com *matching* de esquemas completos. Para Rahm e Peukert (2018), o *matching* em paralelo pode agilizar correspondências individuais.

Nessa terceira fase do processo de *schema matching* proposto para o modelo HSSMatch o componente “*Matcher Execution Engine - match(F1N, F2N)*” executa as etapas a seguir. A “Etapa 1 - Pré-processamento: indexação ou recursos de esquema” está baseada no estudo de Bellahsène; Bonifati e Rahm (2011). Nessa etapa, de modo a preparar os cálculos das similaridades de nomes, são analisados nomes de indexação ou recursos de esquema. Após a “Etapa 1”, poderá realizar dois tipos de *matching* em cada par de fragmentos candidatos a *match*. O que será feito nas próximas etapas do componente “*Matcher Execution Engine - match(F1N, F2N)*”, quais sejam: “Etapa 2 - *Matching* em nível de Esquema” e/ou “Etapa 3 - *Matching* em nível de Instância (*Text-oriented* e *Constraint-oriented*)”.

Na “Etapa 2”, há, conforme necessidade, quatro abordagens, quais sejam: “Abordagem baseada em linguística”, “Abordagem baseada em restrição”, “Abordagem em nível de estrutura” e/ou “Abordagem baseada em reuso”. A relevância de um *matcher* que faz a combinação de várias abordagens é defendida por Rahm e Bernstein (2001), por fornecer mais candidatos a *match* bons do que em relação ao que usa somente uma abordagem. Referem ao *matcher* híbrido que integra diferenciadas fontes de informação ou critérios de correspondência. Para Do e Rahm (2002), trata-se de uma característica essencial no processo de *schema matching*, por permitir execução de vários *matchers* que exploram diversos tipos de informações dos esquemas, por exemplo: nomes; tabelas de sinônimos e resultados de correspondência anteriores; informações auxiliares; propriedades estruturais e tipos de dados (Do & Rahm, 2002).

Nessa “Etapa 2”, mais especificamente na “Abordagem baseada em linguística” para o *match*, serão utilizados processamento de texto e métricas de similaridade de *strings* com foco na descrição de elementos e nomes. Para Rahm e Peukert (2018), *matchers* linguísticos focam na similaridade de nomes de elementos. Para Sanborn e Skryzalin (2015), como as métricas de similaridade de *strings* não proporcionam bom desempenho no *matching* por conta das diferentes características dos elementos dos esquemas, torna-se necessária a utilização de técnicas de processamento de texto de *strings*, como

por exemplo: remoção *stop word*; dicionários de sinônimo; abreviação; dentre outras, para que *matching* possa obter melhor desempenho.

Vale salientar que no modelo HSSMatch serão utilizadas ainda técnicas para a melhoria da eficácia do *matching* por meio dos componentes “*Background knowledge*” e “Reuso/Informações auxiliares”. Com base em Rahm e Peukert (2018), há técnicas que podem ser utilizadas na melhoria da eficácia do *match*, de modo a encontrar correspondências com o suporte de conhecimentos específicos ou gerais, como por exemplo, *thesaurus*, *background knowledge* e bibliotecas que contêm dicionários.

Também na “Etapa 2”, se necessário, será utilizada a “Abordagem baseada em restrição”. Segundo Rachman e Saptawati (2017), esse tipo de abordagem é utilizada quando o *schema matching* baseado em linguagem resulta em mais de um candidato. Rahm e Bernstein (2001) evidenciam que os esquemas contêm restrições, e estas podem ser usadas em um matcher para determinar a similaridade de seus elementos.

Ainda na “Etapa 2”, o modelo HSSMatch foi arquitetado prevendo necessidade de utilização da “Abordagem em nível de estrutura”, que, segundo Rahm e Peukert (2018), consiste em uma abordagem que possibilita determinar, com base na similaridade de seus vizinhos de esquema, a similaridade dos elementos de dois esquemas de entrada. Como os esquemas passam por constantes modificações em razão das formas atuais de desenvolvimento de sistemas, no modelo HSSMatch será realizado o *matching* de versões dos esquemas modificadas em tempo hábil a partir de resultados de *match* e esquemas já correspondidos.

Ainda na “Etapa 2”, para fins de melhoria na eficácia de *matching*, o modelo HSSMatch pode utilizar a “Abordagem baseada em reuso”, na qual são admitidos os resultados anteriores de *matching* realizados nesse mesmo modelo, em correspondências de elementos individuais, ou na forma de mapeamentos entre fragmentos de esquemas comuns ou ainda mapeamentos de esquemas completos. Bernstein, Madhavan e Rahm (2011) referem ao *matching* baseado em reuso como um tipo de abordagem em que são admitidos *matches* já realizados entre fragmentos de esquema de mapeamentos que subsidiam tarefas posteriores de *match* no mesmo domínio. Para Rahm e Peukert (2018), em uma abordagem híbrida, a partir de resultados de *match* anteriores e de esquemas já correspondidos, pode ser realizado o *matching* de esquemas semelhantes e de versões modificadas dos esquemas.

A “Etapa 3 - *Matching* em nível de Instância (*Text-oriented* e *Constraint oriented*)” poderá também ser necessária. Considerando que esse modelo comporta esquemas com grande quantidade de dados, para processar as instâncias dos fragmentos dos esquemas, o *matching* em nível de instância utilizará técnicas de agrupamento de dados e de Big Data. De acordo com Rahm e Bernstein (2001), a caracterização para aprimoramento dos *matches* em nível de esquema permite utilizar o *matching* em nível de instância. Nesse tipo de *matching* são avaliadas as instâncias do esquema que são uma caracterização precisa do conteúdo real dos elementos. Rahm e Peukert (2018) afirmam que esse tipo de *matching* determina a similaridade de elementos com base em seus dados de instância.

No *workflow* de *schema matching* da arquitetura do modelo HSSMatch, a próxima fase denomina-se “4ª Fase Combinação e Validação Final”. Nessa fase, o componente

“Combinar resultados do *Matching*” fará a combinação dos resultados de *matching* individuais dos fragmentos similares dos esquemas. Além disso, os resultados, antes da conversão da representação interna para a representação externa, passarão por validação de um especialista humano no domínio por meio de uma interface de usuário. Rahm e Peukert (2018) mencionam que os *matches* individuais, de maneira geral, mostram um grande número de correspondências possíveis.

Nesse *workflow* de *schema matching* do modelo HSSMatch, para atualizar o modelo de classificação de informação auxiliar serão utilizadas as informações do componente “Verificar e modificar o resultado - validação do especialista humano de domínio”, as quais auxiliarão o “Ajuste semiautomático de estratégias de *match* - Modelo de classificação de informação auxiliar” para as configurações desse modelo. De modo mais específico, serão feitos ajustes semiautomáticos de estratégias de *match*, quais sejam: limites de similaridade e pesos de diferentes *matchers*; seleção dos *matchers* a serem utilizados; e métodos que serão usados para combinar os resultados de do *schema matching*. Para Rahm e Peukert (2018), há decisões complexas de realizar e que impactam na eficácia do *match*, como a necessidade de configurar e especificar de modo manual as estratégias de *match* utilizadas em sistemas da atualidade. Além disso, como os processos de *schema matching* são fundamentados na semântica, há necessidade de um especialista humano para verificar a saída final do *matching* (Bellahsène, Bonifati & Rahm, 2011). Finalizando, o “Resultado Final do *schema matching*” é traduzido pelo componente “Conversor representação interna/externa” para a representação final no formato original, conversão essa necessária para visualização do resultado final do *workflow* de *schema matching*.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresenta a arquitetura do modelo HSSMatch, que propõe melhorar a eficiência e eficácia no processo de *matching*, de modo a auxiliar a integração de dados em microsserviços reais, suportar atualizações estruturais dos dados, reduzir o espaço de busca e utilizar uma combinação de *matchers* em nível de esquema e em nível de instâncias. Esse modelo prevê quatro fases para o *workflow* de *schema matching*: “1ª Fase Conversão”, “2ª Fase Particionamento (Busca de fragmentos similares)”, “3ª Fase *Matching* paralelo” e “4ª Fase Combinação e Validação Final”. Cada fase é específica e a 3ª apresenta etapas incorporadas, que propõe a realização de *schema matching* com grandes esquemas providos de ecossistemas de arquiteturas orientadas a microsserviços. Um ponto forte dessa proposta é considerar a semântica como aliada no processo *schema matching* e a capacidade de obter e considerar modificações dos esquemas em tempo real. Além disso, é uma arquitetura de modelo passível de ser implementada em ferramentas para *schema matching* em aplicações práticas.

Adicionalmente, a pretensão é incluir no modelo HSSMatch propostas de interfaces de usuário aprimoradas para controlar processos de *schema matching* no fornecimento de *feedback* de especialistas para a atualização das configurações do *workflow* de *schema matching*. Além disso, implementar o modelo proposto em uma ferramenta de uso prático para a sua avaliação e validação.

Referências

- Alani, H., & Saad, S. (2017). Schema matching for large-scale data based on ontology clustering method. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(5), 1790-1797. Recuperado de: http://insightsociety.org/ojaseit/index.php/ijaseit/article/view/2133/pdf_546.
- Alqarni, A. A., Pardede, E. (2013). Internal Filtering Approach toward Efficiency Optimization of Matching Large Scale XML Schemas. *2013 16th International Conference on Network-Based Information Systems*, 464-469. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6685445>.
- Bellahsene, Z., Bonifati, A., & Rahm, E. (Ed.). (2011). Schema matching and mapping. Recuperado de: <https://www.springer.com/us/book/9783642165177>.
- Berlin, J., & Motro, A. (2002). Database schema matching using machine learning with feature selection. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 452-466. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.67.9222&rep=rep1&type=pdf>.
- Bernstein, P. A., Madhavan, J., & Rahm, E. (2011). Generic schema matching, ten years later. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 4(11), 695-701. Recuperado de: http://www.vldb.org/pvldb/vol4/p695-bernstein_madhavan_rahm.pdf.
- Bohannon, P., Elnahrawy, E., Fan, W., & Flaster, M. (2006). Putting context into schema matching. *Proceedings of the 32nd international conference on Very large data bases*, 307-318. Recuperado de: <http://www.vldb.org/conf/2006/p307-bohannon.pdf>.
- Boyd, D., & Crawford, K. (2012). Critical questions for big data: provocations for a cultural, technological, and scholarly phenomenon. *Information, communication & society*, 15(5), 662-679. Recuperado de: https://people.cs.kuleuven.be/~bettina.berendt/teaching/ViennaDH15/boyd_crawford_2012.pdf.
- Chien, B. C., & He, S. Y. (2010). A hybrid approach for automatic schema matching. *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 6, 2881-2886. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5580776>.
- Do, H. H., & Rahm, E. (2002). COMA: a system for flexible combination of schema matching approaches. *Proceedings of the 28th international conference on Very Large Data Bases*, 610-621. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/d6a3/7d79b03a949d5e5f03b6e5c90691bfba860a.pdf>.
- Do, H. H., & Rahm, E. (2007). Matching large schemas: approaches and evaluation. *Information Systems*, 32(6), 857-885. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.149.4932&rep=rep1&type=pdf>.
- Dong, X. L., & Srivastava, D. (2013). Big data integration. *29th International Conference on IEEE*, 1245-1248. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6544914>.

- Hao, T., & Qu, Y. (2016). QSem: a novel question representation framework for question matching over accumulated question-answer data. *Journal of Information Science*, 42(5), 583-596. Recuperado de: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0165551515602457>.
- Kettouch, M. S., Luca, C., Hobbs, M., & Dascalu, S. (2017). Using semantic similarity for schema matching of semi-structured and linked data. *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 128-133. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8101923>.
- Lewis, J., & Fowler, M. (2014). Microservices. Recuperado de: <http://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
- Rachman, M. A. F., & Saptawati, G. A. P. (2017). Database integration based on combinationschema matching approach (case study: multi-database of district health information system). *2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 430-435. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8285544>.
- Rahm, E., & Bernstein, P. A. (2001). A survey of approaches to automatic schema matching. *The VLDB Journal*, 10(4), 334-350. Recuperado de: <http://cognitrn.psych.indiana.edu/rgoldsto/papers/graph%20matching%20survey.pdf>.
- Rahm, E., & Peukert, E. (2018). Large-Scale Schema Matching. *Encyclopedia of Big Data Technologies*, 1-6. Recuperado de: <https://dbs.uni-leipzig.de/file/enc-LS-Schema%20Matching.pdf>.
- Sanborn, A., & Skryzalin, J. (2015). Deep learning for semantic similarity. *CS224d: Deep Learning for Natural Language Processing Stanford, CA, USA: Stanford University*. Recuperado de: <https://cs224d.stanford.edu/reports/SanbornAdrian.pdf>.
- Shvaiko, P., & Euzenat, J. (2005). A survey of schema-based matching approaches. *Journal on data semantics IV*, 4, 146-171. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/123d/1ac1d533be12fea5c454a0e9dbec4d5c59d0.pdf>.

CiRM en el contexto de e-government Municipal: Una Revisión Sistemática de Literatura

Daniel Carrasco¹, Angélica Caro¹, Alfonso Rodríguez¹

dcarrasco552@gmail.com, mcaro@ubiobio.cl, alfonso@ubiobio.cl.

¹ Departamento de Ciencias de la Computación y Tecnologías de Información, Universidad del Bío-Bío, Andrés Bello 720, Chillán, Chile.

Pages: 324–336

Resumen: Los municipios o gobiernos locales son la organización gubernamental más cercana a los ciudadanos. En consecuencia, están permanentemente en la búsqueda de nuevas estrategias para entregar un mejor servicio a la comunidad y entender mejor sus necesidades. Esto último se puede lograr de mejor forma cuando se gestiona la relación del municipio con sus ciudadanos, también conocido como CiRM. Pero ¿existen experiencias sobre CiRM? y ¿qué se requiere para su implementación? En este artículo se presentan los resultados de una Revisión Sistemática de la Literatura que pretende responder estas y otras interrogantes sobre CiRM. Así mismo, estos resultados nos han permitido identificar diferentes tecnologías usadas en la implementación de CiRM, su impacto en los municipios y cómo pueden fortalecer el vínculo municipio-ciudadano. Todo esto constituirá la base para a futuro generar un modelo de implementación de CiRM aplicable a municipios, particularmente aquellos con menos recursos y que deseen enfocar su gestión en los ciudadanos.

Palabras-clave: CiRM, e-government, Municipalidad, Gobierno local.

CiRM in the context of municipality e-government: A Systematic Literature Review.

Abstract: Municipalities or local governments are the closest governmental organization to the citizens. Consequently, they are permanently searching new strategies for providing better services to the community and for more adequately understanding its needs. Achieving the latter can be done in an improved manner through Citizen Relationship Management (CiRM). But, are there existing experiences on CiRM? And what is required for its implementation? This article presents the results of a Systematic Literature Review that pretends to answer these and other questions regarding CiRM. Likewise, these results allowed to identify different technologies that are used in the implementation of CiRM, their impact on municipalities and how can they strengthen the municipality-citizen link. All of this will constitute the foundation for generating a CiRM implementation model applicable to municipalities, particularly those with less resources that want to focus their management on the citizens, in the future.

Keywords: CiRM, e-government, Municipality, Local government.

1. Introdução

En los últimos años hemos visto cómo los ciudadanos, mediante el uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs), han mejorado su acceso a los servicios e información brindados por las organizaciones de carácter público. Particularmente, los municipios se han dotado de la infraestructura tecnológica apropiada para mejorar su gestión y los servicios brindados a la ciudadanía (Demo, Farias, de Souza, & França, 2017; Heringer, 2016; Hui & Hayllar, 2010).

Los municipios son entes claves para el desarrollo de una comunidad, siendo su finalidad brindar servicios y llevar a cabo actividades para asegurar el progreso económico, social y cultural de sus ciudadanos (Sá, Rocha, & Cota, 2016). Asimismo, los municipios suelen ser la entidad pública más cercana con la ciudadanía (Bahari, 2012), por lo cual no es de extrañar que una de sus preocupaciones más frecuentes sea establecer y mantener una comunicación efectiva con ella (Abdelsalam, Reddick, Gamal, & Al-shaar, 2013). En este sentido, a nivel global, se ha observado la puesta en marcha de iniciativas que se centran en mejorar la forma en que los gobiernos interactúan y gestionan su relación con los ciudadanos, llamada CiRM (por las siglas en inglés de Citizen Relationship Management), cuyo objetivo es crear un gobierno más centrado en los ciudadanos (de la Antonia López, 2010; Demo et al., 2017; Duque, Varajao, & Filipe, 2018; Heringer, 2016; Larrosa et al., 2016; Marc & Moez, 2011).

CiRM es derivado de CRM (por las siglas en inglés de Customer Relationship Management), que corresponde a un modelo de administración y gestión de la relación con los clientes y que persigue la satisfacción de las necesidades de éstos (Keramati, Saremi, & Afshari-Mofrad, 2011; Tavana, Zandi, & Katehakis, 2013). En el contexto de organizaciones públicas, la idea es abordar la gestión de la relación con el “ciudadano cliente” enfocándose en mejorar la atención a los ciudadanos mediante la prestación de servicios de mayor calidad (Bahari, 2012, 2013; Côte, 2013), lo que finalmente derivará en lograr mayor cercanía, participación, bienestar y satisfacción de estos (Nasirin & Bahari, 2012).

Considerando la situación anteriormente expuesta este artículo busca, a través de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), conocer cómo se ha aplicado CiRM y cómo esto ha impactado en la relación que posee un municipio con la ciudadanía. También nos interesa obtener la tecnologías usadas en CiRM y cómo los municipios las han implementado.

El resto de este documento se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2, se aborda el concepto de CiRM, en la Sección 3, se describe la RSL realizada sobre CiRM, en la Sección 4, se analizan los resultados de la RSL en base a las interrogantes de investigación planteadas, y finalmente en la Sección 5, se expondrán las conclusiones del estudio.

2. Gestión de la relación con los ciudadanos

Cuando CRM se aplica al sector público se denomina Gestión de la relación con el ciudadano (CiRM o CzRM). En la literatura existen diferentes definiciones para este

término. Aunque un aspecto común que se puede derivar de ellas es que un CiRM consiste en un modelo de gestión que contempla un conjunto de reglas que planifica, evalúa y personaliza las relaciones con los ciudadanos (Demo et al., 2017; Duque et al., 2018).

En diferentes países los gobiernos están interesados en satisfacer tres variables importantes que están relacionadas con la calidad de servicio entregado al ciudadano (Luna-Reyes, Gil-García, & Celorio Mansi, 2011):

- Cumplimiento de las necesidades de los ciudadanos.
- Tener una buena interacción ciudadano-municipio y mejorar su comunicación.
- Entregar un servicio segmentado y personalizado para sus ciudadanos.

Los municipios, en general, tienen entre sus objetivos generar confianza en sus ciudadanos, aumentar el grado de satisfacción con respecto a los servicios que pueden entregar y crear un compromiso entre ciudadano y municipio. Con esto, el municipio puede estar mucho más cerca del ciudadano y obtener lealtad y compromiso por parte de ellos (Abdullah, Sharif, & Wah, 2010; Luna-Reyes et al., 2011; Vilela, 2012).

CiRM puede ser muy beneficioso para los municipios si se aplica de manera correcta y de acuerdo a las particularidades de cada municipio. Los municipios difieren mucho unos de otros en función de aspectos como recursos disponibles, ruralidad, uso de tecnología, ciudadanos, preparación de su personal, entre otros. Estos factores deben tomarse en cuenta al momento de implementar CiRM, de modo que este sea efectivo. Esto es una razón más para conocer experiencias de su implementación.

3. Revisión Sistemática de la Literatura sobre CiRM

Una RSL es un método para identificar, evaluar e interpretar toda la información disponible actualmente sobre una pregunta de investigación en particular (Kitchenham, 2004). Consta de 3 etapas: Planificación de la revisión, Desarrollo de la revisión y Publicación de los resultados.

El objetivo de esta RSL fue obtener información referente a CiRM que permitiera responder las siguientes Interrogantes (I) de investigación:

- I1.** ¿Cómo se implementa un CiRM en contexto municipal?
- I2.** ¿Existe algún modelo/metodología de CiRM aplicado en el contexto municipal?
- I3.** ¿Cuál es el impacto de aplicar CiRM en un municipio?
- I4.** ¿Qué características tienen los municipios donde se ha aplicado CiRM?

Las siguientes subsecciones muestran las dos primeras etapas de la RSL y la tercera es el artículo en sí mismo.

3.1. Planificación de RSL sobre CiRM

Basados en las interrogantes de investigación planteadas se definieron términos de búsqueda (Tabla 1) y sus combinaciones (Tabla 2).

ID	Término	ID	Término
T1	CiRM	T5	model
T2	CzRM	T6	methodology
T3	e-government	T7	local e-government
T4	Municipality		

Tabla 1 – Términos RSL

ID	Términos y combinaciones	ID	Términos y combinaciones
C-1	T2 AND T7	C-6	T1 AND T7 AND (T6 OR T5)
C-2	T2 AND T7 AND (T6 OR T5)	C-7	T1 AND T4 AND T3
C-3	T2 AND T4 AND T3	C-8	T1 AND T4 AND T3 AND (T6 OR T5)
C-4	T2 AND T4 AND T3 AND (T6 OR T5)	C-9	T2
C-5	T1 AND T7	C-10	T1

Tabla 2 – Combinaciones de RSL

Para realizar la RSL se utilizaron 4 fuentes bibliográficas: Web of Science, Scopus, Springer y Google Scholar. Por cada fuente de búsqueda se aplicaron las combinaciones mencionadas en la Tabla 2, tanto en español como en inglés. De los resultados generados en cada búsqueda, sólo se analizaron los primeros 200 filtrados por fechas desde el año 2010 hasta el año 2019. Además, se consideró como criterio de inclusión aceptar trabajos que respondieran alguna de las preguntas de investigación establecidas; y como criterio de exclusión descartar trabajos que a pesar de contener los términos de búsqueda no respondieran ninguna de las interrogantes.

3.2. Desarrollo de la Revisión

A continuación, se muestran los resultados de las búsquedas en las diferentes fuentes, de acuerdo con la aplicación de las combinaciones indicadas anteriormente.

En la Tabla 3 se muestran los resultados tanto en español como en inglés de la búsqueda realizada en Google Scholar, Web Of Science, Scopus y Springer Link, totalizando por cada una los resultados de todas las combinaciones usadas. Por cada fuente se realizaron las búsquedas adaptándolas a las funcionalidades provistas en cada una de ellas.

Fuente	Resultados	A	revisar	Repetidos	Revisados	Preselección	Útiles
Google Scholar	16.797	1.944	961	983	59	38	
Web Of Science	85	85	2	83	6	1	
Scopus	1.830	210	8	202	6	1	
Springer	688	235	26	209	3	2	
Total	19.400	2.474	997	1.477	74	42	

Tabla 3 – Resumen de resultados de búsqueda por fuente

En la segunda columna de la Tabla 3 podemos ver que al aplicar todas las combinaciones de búsqueda en las 4 fuentes se obtuvieron 19.400 resultados. Luego al seleccionar los 200 primeros resultados de cada búsqueda particular (algunas entregaron menos de 200 resultados) la cantidad de artículos se redujo a 2.474 (columna 3). De los artículos seleccionados se descartaron 997 que estaban repetidos (columna 4). Los otros 1.477 fueron revisados mediante la lectura de su título y resumen (columna 5), preseleccionando un total de 74 artículos (columna 6). Estos últimos fueron leídos en profundidad aplicando los criterios de inclusión y exclusión, con lo cual se identificaron 42 artículos útiles para la investigación (columna 7). Como se puede ver en la columna Útiles de la Tabla 3, Google Scholar fue la fuente con más resultados útiles (90%).

En base a los 42 artículos que resultaron útiles se pudo responder las interrogantes de investigación planteadas.

4. Análisis de Resultados

A continuación, basándose en los resultados obtenidos y los artículos analizados se procede a responder las preguntas de investigación que se plantearon anteriormente.

4.1. ¿Cómo se implementa un CiRM en el contexto municipal?

Algunos artículos de implementación de CiRM sugieren centrarse en tres aspectos esenciales: operativo, colaborativo y analítico (Bahari, 2013; Doberti et al., 2016; Larrosa et al., 2016; Nasirin & Bahari, 2012):

- Operativo: incluye todas las aplicaciones destinadas a cumplir con las tareas cotidianas de servicio al público.
- Colaborativo: comprende aplicaciones que brindan soporte al público a través de una única ruta de servicio (como un centro de llamados y/o un portal integrado de CiRM).
- Analítico: que incluye una aplicación que es capaz de extraer y analizar datos públicos (considera data warehouse y herramientas de data mining).

Estos tres aspectos son claves para que una implementación de CiRM sea beneficiosa y útil, tanto para el municipio como para los ciudadanos. Las tecnologías/implementaciones identificadas en la literatura se presentan en la Tabla 4, y luego se entrega una breve descripción de cada una de ellas.

Como se puede ver en la Tabla 4, los Centros de llamados y las Páginas web municipales lideran las implementaciones de CiRM. Algunos artículos presentaban implementaciones de CiRM que se centraban exclusivamente en Centro de llamados y Ventanilla única. Otros, en cambio, presentaban implementaciones donde se combinaban distintas tecnologías. Cabe señalar que de acuerdo a la literatura el centro de llamados es el pionero en implementación de CiRM, probablemente porque es una forma más directa de desarrollar la relación municipio-ciudadano (Al-Jelani, Abdel-Razeq, Al-Najjar, & Al-Hujran, 2013; Elmahfoudi, Hayar, Miranda, & Meyer, 2014) Abdel-Razeq, Al-Najjar, & Al-Hujran, 2013; Elmahfoudi, Hayar, Miranda, & Meyer, 2014.

Tecnología	Menciones
Centro de llamados	23
Página Web	21
Correo Electrónico	12
Redes Sociales	10
Ventanilla única	10
Aplicación Móvil	9
Kiosco Autoatención	8

Tabla 4 – Tecnologías/Implementaciones de CiRM

4.1.1. Centro de llamados

Un Centro de llamados para CiRM es uno en donde cualquier ciudadano puede acceder telefónicamente a un sinfín de beneficios, solicitudes de información, registro de reclamos o sugerencias, rastreo de llamadas y un completo sistema de análisis de las llamadas recibidas. Esta implementación es considerada pionera en CiRM, porque antes de la era de los smartphone solo se podía realizar llamadas telefónicas, es por esto que un centro de llamados era la mejor opción para crear una comunicación masiva entre el municipio y el ciudadano (Al-Jelani et al., 2013; Elmahfoudi et al., 2014; Huebner, 2015). Esto último considera la aplicación de técnicas como Data mining para obtener información relevante sobre las llamadas, los ciudadanos y servicios brindados. Los centros de llamados contemplan la implementación de un número de “No Emergencia”, que corresponde a un teléfono municipal que sirve para acceder a distintos tipos de información que los ciudadanos necesiten en un momento dado y que permite descongestionar números de atención de emergencias (Clark, 2014; Demo & Pessôa, 2015; Reddick, 2010).

4.1.2. Página Web

Las páginas web municipales pueden ser una buena forma de comunicación y centro de información para los ciudadanos de una localidad, dentro de esta se debe tener una gran cantidad de servicios disponibles para su utilización las 24 horas del día y los 7 días de la semana para que el ciudadano pueda acceder a ello sin necesidad de llamar o asistir de forma personal (de la Antonia López, 2010; Heringer, 2016; Larrosa et al., 2016). En este tipo de implementación el acceso a Internet es clave. Hay casos, como por ejemplo Singapur, donde la evolución del CiRM es importante, y se basa en la existencia de una plataforma de interacción mutua, donde los ciudadanos pueden ingresar con una contraseña privada y acceder a todos los beneficios y servicios que ofrece su municipio. Además pueden configurar esa plataforma para recibir automáticamente información de servicios previamente solicitados como empleo o solicitudes de reparación de baches o recolección de basura (Kohlborn, Weiss, Poeppelbuss, Korthaus, & Fieft, 2010).

4.1.3. Correo electrónico

Otra tecnología muy utilizada por su formalidad y seguridad para los usuarios es el correo electrónico. Si bien últimamente la ciudadanía prefiere ocupar otros canales de comunicación con el municipio este aún es utilizado para realizar algunos trámites que requieren de ellos, por ejemplo notificaciones del municipio a los ciudadanos (de la Antonia López, 2010; Larrosa et al., 2016; Marc & Moez, 2011).

4.1.4. Redes Sociales

Como CiRM busca una colaboración entre el ciudadano y el municipio, las redes sociales están resultando un canal muy práctico para ello. En los últimos años los municipios han necesitado ampliar los canales de comunicación para obtener y entregar información a los ciudadanos. Asimismo, han tenido que adaptarse al nuevo ciudadano más empoderado y activo digitalmente, y las redes sociales están siendo un medio efectivo para ello. Éstas proveen una manera más directa y confiable para llegar a los ciudadanos. Además, la integración de las redes sociales se ve como un punto muy favorable e indispensable para que una institución logre captar un gran número de clientes, que en CiRM son los ciudadanos (Côrte, 2013; Doberti et al., 2016; Meyliana, Hidayanto, & Budiardjo, 2015).

El uso de las redes sociales por parte de los municipios requiere que los administradores activen las cuentas y estén constantemente subiendo contenido, coordinen actividades dentro y fuera de la aplicación y adoptar nuevas tecnologías. Por otro lado, el uso de redes sociales es mucho más económico que una implementación completa de CiRM (Elmahfoudi et al., 2014; Fusi & Feeney, 2015).

4.1.5. Ventanilla Única (ONE STOP)

La Ventanilla única para los ciudadanos es una implementación de CiRM donde ellos pueden realizar todos sus trámites en un solo lugar, sin necesidad de ir hacia otro edificio o lugar físico. Esta metodología de atención también es muy utilizada en el servicio privado para acelerar sus atenciones y entregar un mejor servicio a los clientes disminuyendo los tiempos de espera y de traslado para lograr completar los trámites municipales (Bahari, 2013; Demo et al., 2017; Hui & Hayllar, 2010; Kohlborn et al., 2010; Mobahi, 2012).

4.1.6. Aplicaciones Móviles

Las aplicaciones móviles son otra tecnología que puede aplicarse en CiRM. Por ejemplo, la utilización de una aplicación móvil para solucionar problemas de infraestructura para la ciudad puede ser motivadora y útil tanto para los ciudadanos como el municipio. Se reporta un caso en la literatura donde los ciudadanos pueden usar estas aplicaciones para notificar al municipio de eventos que ocurren en la ciudad y que requieren atención, lo cual ayuda a los municipios a gestionar de manera más rápida y eficiente los recursos gracias a pruebas fotográficas y localización exacta por GPS que los mismos ciudadanos envían al municipio (Hartmann, Mainka, & Stock, 2017).

4.1.7. Kiosco de Autoatención

Otra implementación de CiRM consiste en instalar Kioscos de autoatención (o Totem de autoatención) en distintos puntos de la ciudad para mantener a los ciudadanos siempre conectados con los servicios que puede ofrecer su municipio, sin la necesidad de asistir a una oficina o acceder desde internet. Estos kioscos están repartidos en toda la ciudad y en puntos de alta concurrencia para facilitar el acceso a la comunidad (Bahari, 2012, 2013; Luna-Reyes et al., 2011; Zamanian, Khaji, & Emamian, 2011).

4.2. ¿Existe algún modelo/metodología de CiRM aplicado en un contexto municipal?

Respecto de modelos o metodologías de CiRM que sirvan de base para su implementación, la literatura no reporta expresamente propuestas. Sin embargo hay algunos trabajos que proveen algunos elementos que pueden orientar cómo abordar la implementación de un CiRM. Entre ellos está el de Bahari (2013) que propuso un framework teórico para el proceso de implementación de CiRM que se basa en un grupo de 10 determinantes, tal como se muestra en la Figura 1.

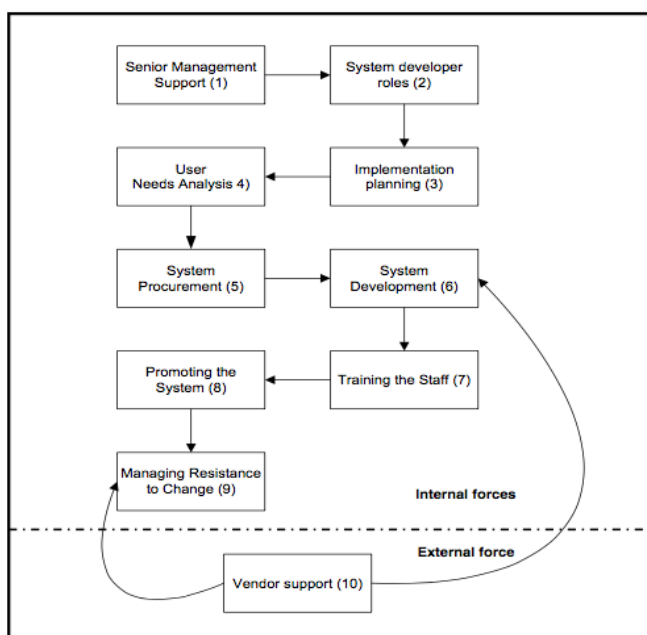


Figura 1 – Framework teórico del proceso de implementación de CiRM, figura original (Bahari, 2013)

Más tarde en (Ying, Nasirin, & Rizal, 2018), proponen otro framework con los determinantes: Planificación de la Implementación, Análisis de las necesidades de los

usuarios (usuario y ciudadano), Rol de los desarrolladores de sistemas, Resistencia al cambio, Entrenamiento en sistemas CiRM, Sensibilización y Sostenibilidad de los recursos.

4.3. ¿Cuál es el impacto de aplicar CiRM en un municipio?

Respecto del impacto de CiRM, la literatura estudiada reporta mejoras en la prestación de servicios a los ciudadanos, al igual que la participación pública en el mundo real. Los servicios a los ciudadanos pasan a ser más receptivos, accesibles, convenientes y rentables, y permiten tener una visión más apropiada de los ciudadanos y sus necesidades. Por otro lado, CiRM posee algunos requerimientos indispensables para su buen funcionamiento, que impactan al municipio desde un punto de vista interno. Entre ellos es necesario contar con una plataforma de e-government basada en diferentes sistemas de información y aplicaciones de software, buena conexión a internet y sobre todo un buen nivel de digitalización de sus procesos internos y documentos (Zaki, 2017). También es muy importante evaluar el acceso a internet que poseen los ciudadanos y el nivel de utilidad que la implementación de CiRM proveerá (da Silva & Maria, 2016; Doberti et al., 2016; Reddick, Abdelsalam, & Elkadi, 2012).

Si bien CiRM está diseñado para sacar el máximo provecho a las TICs, este siempre irá de la mano con la plataforma de e-government del municipio. Dicha plataforma debe poseer algunas características para que pueda ser de real utilidad para el municipio en donde se implementará CiRM (Mobahi, 2012):

- Utilizable en todos los niveles de gobierno.
- Involucrar a la mayoría de los ciudadanos y empresas.
- Gestión de entrega de información en servicios públicos.
- Actividad integrada que implica el uso de múltiples formas de internet, sitios web, sistemas de integración, e interoperabilidad.

Se ha demostrado que CiRM, como tecnología de reemplazo, aumenta la eficiencia de los servicios a los ciudadanos, identifica con mayor precisión las necesidades de los ciudadanos y fortalece las comunicaciones y la cooperación entre el gobierno, los ciudadanos y las partes interesadas (Abdelsalam et al., 2013; Reddick, 2010). Además, con la mejora en la comunicación municipio-ciudadano el gobierno puede tomar medidas más específicas para abordar las verdaderas quejas o molestias de los ciudadanos, dando así una respuesta más eficiente a los problemas que expresa la comunidad.

4.4. ¿Qué características tienen los municipios donde se ha aplicado CiRM?

Para una correcta implementación de un CiRM es necesario que un municipio cumpla o desarrolle una serie de componentes organizativos, tanto estructurales como de compromiso ciudadano. Esto último se refiere a que en la implementación de CiRM es importante hacer partícipe a la comunidad durante todo el proceso porque esto ayudará al municipio a comprender, por ejemplo, cuáles serían los mejores canales de comunicación que debe adoptar el municipio de acuerdo con el tipo de ciudadano (Bahari, 2013).

La transparencia por parte del municipio es muy importante para acrecentar la relación ciudadano-municipio, entregando información a los ciudadanos de las decisiones y los movimientos del gobierno (Doberti et al., 2016).

Por otro lado, CiRM implica grandes desafíos, para cumplir el compromiso de brindar servicios centrados en los ciudadanos, respecto a la integración de la información y los servicios que normalmente radican en diferentes unidades organizacionales de un municipio (Chen, 2010).

Asimismo, para mejorar los beneficios y entregar de una mejor calidad de servicio hacia los ciudadanos los municipios pueden crear alianzas con entidades privadas que brinden servicios complementarios a los ciudadanos o que en un momento dado el municipio no pueda brindar. Por ejemplo un ciudadano de la biblioteca pública busca un libro en la plataforma Web y al percatarse de que no existe stock de dicho libro la misma página web del libro le facilita links de compra de dicho libro como www.Amazon.com u otras entidades locales haciendo una colaboración y entrega de un mejor servicio a la comunidad y también la biblioteca local tendrá un beneficio por cada compra de libros realizadas desde su propia página (Hui & Hayllar, 2010).

5. Conclusión

Los municipios o gobiernos locales son la organización gubernamental más cercana a los ciudadanos. CiRM es un modelo de gestión de la relación con los ciudadanos que puede ser de gran utilidad para que los municipios puedan solucionar los problemas que actualmente enfrentan o que están próximos a enfrentar respecto de las necesidades de sus ciudadanos. CiRM se basa en el uso de tecnología y los sistemas de información que posee un municipio, junto con un cambio cultural profundo en la gestión, de modo que su quehacer se vuelque completamente en los ciudadanos.

En este artículo se muestra el resultado del desarrollo de una RSL, que pretendía profundizar en aspectos claves de la implementación de CiRM en los gobiernos locales o municipios. Como conclusiones podemos mencionar que no existe tanta literatura al respecto, pero que hay una tendencia creciente hacia el cambio de la gestión de los municipios hacia un enfoque centrado en el ciudadano. Además, la implementación de CiRM suele ser muy costosa y su rentabilidad depende en gran medida de la cantidad de ciudadanos alcanzados además del tiempo invertido en la transformación tanto cultural como estructural del municipio. Los sistemas de información de los municipios resultan claves así como su integración y la de las diferentes unidades organizacionales.

De acuerdo con lo obtenido en la RSL podemos inferir que cuando un municipio adopta un modelo CiRM lo hace girando todos sus recursos hacia los ciudadanos, generando lazos de comunicación con ellos e interactuando colaborativamente para un bien común por la ciudad. Para ellos los canales de comunicación son lo primero y lo más importante para fortalecer la comunicación municipio-ciudadano, es por esto que implementaciones como los centros de llamados, páginas web, aplicaciones móviles y últimamente las redes sociales son imprescindibles para que CiRM pueda ser un éxito en la localidad.

Además, se puede inferir que no hay una gran adopción de CiRM por parte de los municipios, ya sea porque las TICs son de un alto costo para el municipio, no es considerado una necesidad a corto plazo o que el municipio no quiere invertir en un modelo que cambiaría completamente su estructura por beneficios a largo plazo.

Nuestro trabajo futuro se orientará a buscar estrategias de implementación de CiRM que permitan a los municipios cambiar paulatinamente su gestión y servicios hacia el enfoque centrado en los ciudadanos. Asimismo, considerar tecnologías y/o modelos que ayuden a reducir el tiempo necesario para obtener prontamente resultados, particularmente aquellas que sean accesibles también para municipios con recursos limitados. Por ejemplo podría ser el uso de redes sociales con un enfoque CiRM, esta tecnología es fácil de implementar y actualmente está presente en la mayoría de los municipios

Referencias

- Abdelsalam, H. M., Reddick, C. G., Gamal, S., & Al-shaar, A. (2013). Social media in Egyptian government websites: Presence, usage, and effectiveness. *Government Information Quarterly*, 30(4), 406-416.
- Abdullah, H. S., Sharif, N., & Wah, Y. B. (2010). *Citizen Relationship Management: The influence of justice perceptions and service recovery satisfaction on trust in government: An empirical investigation of Malaysian local authorities*. Paper presented at the Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics.
- Al-Jelani, A., Abdel-Razeq, R., Al-Najjar, S., & Al-Hujran, O. (2013). e-government and crm in jordan: current state and main challengies.
- Bahari, M. (2012). Citizen Relationship Management Implementation in Local Government–Towards a Theoretical Research Framework. *Journal of Information Systems Research and Innovation*, 2, 51-61.
- Bahari, M. (2013). *Citizen relationship management implementation in Malaysian local governments*. Brunel University, School of Information Systems, Computing and Mathematics.
- Chen, Y.-C. (2010). Citizen-centric e-government services: Understanding integrated citizen service information systems. *Social Science Computer Review*, 28(4), 427-442.
- Clark, B. Y. (2014). Do 311 Systems Shape Citizen Satisfaction with Local Government? Available at SSRN 2491034.
- Côrte, D. M. d. (2013). *Fatores criticos de sucesso do CRM no setor público: estudo exploratório*. Instituto Superior de Economia e Gestão.
- da Silva, E. S. P., & Maria, E. (2016). *As Tecnologias de Informação e Comunicação aplicadas na Gestão das Autarquias como fator de prestação e proximidade junto dos cidadãos-Estudo de Caso: O CRM no Município de Alcochete*.
- de la Antonia López, D. (2010). CiRM: Estrategia para la gestión de relaciones con los ciudadanos en la Administración electrónica. *Revista Icade. Revista de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales*(81), 237-256.
- Demo, G., Farias, R. A. S., de Souza, L. G., & França, J. B. (2017). Gestão do Relacionamento com o Cidadão (CiRM): Revisão Bibliométrica e Itinerários da Produção Nacional resumo.

- Demo, G., & Pessôa, R. (2015). CRM na administração pública: desenvolvimento e validação de uma Escala de Relacionamento com o Cidadão (ERCi). *Revista de Administração Pública*, 49(3), 677-697.
- Doberti, J., Pepe, M. L., Larrosa, M. I., Crocco, C., Gabay, G., Hindi, G., et al. (2016). *Platform of Citizen Interaction: the contribution to the governability of New TIC's and Citizen Relational Management*. Paper presented at the XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016).
- Duque, J., Varajao, J., & Filipe, V. (2018). *From CRM to CzRM—Fundamental concepts*. Paper presented at the 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI).
- Elmahfoudi, M. A., Hayar, A., Miranda, S., & Meyer, V. (2014). *Role of social networks and paperless citizens' claims processing in strengthening democracy in the Arab world: The case of Morocco: Towards a CIRM* across the state*. Paper presented at the 2014 International Conference on Next Generation Networks and Services (NGNS).
- Fusi, F., & Feeney, M. K. (2015). *Wasting time on facebook?: when social media can be useful for local governments*. Paper presented at the Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research.
- Hartmann, S., Mainka, A., & Stock, W. G. (2017). Citizen relationship management in local governments: The potential of 311 for public service delivery *Beyond Bureaucracy* (pp. 337-353): Springer.
- Heringer, L. P. (2016). gestão de relacionamento virtual com o cidadão (CiRM).
- Huebner, J. P. (2015). E-participation and citizen relationship management in urban governance: Tools and methods *Public Affairs and Administration: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 11-47): IGI Global.
- Hui, G., & Hayllar, M. R. (2010). Creating public value in e-Government: A public-private-citizen collaboration framework in Web 2.0. *Australian Journal of Public Administration*, 69, S120-S131.
- Keramati, A., Saremi, M. S., & Afshari-Mofrad, M. (2011). Citizen relationship management critical success factors: An empirical study of municipality of Tehran. *International Journal of Electronic Governance*, 4(4), 322-347.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004), 1-26.
- Kohlborn, T., Weiss, S., Poeppelbuss, J., Korthaus, A., & Fielt, E. (2010). *Online service delivery models: An international comparison in the public sector*. Paper presented at the Proceedings of the 21st Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2010).
- Larrosa, M., Pepe, M. L., Gabay, G., Molina, C., Paradela, C., & Crocco, C. (2016). Herramientas CiRM y las nuevas TICs como soporte del Gobierno Electrónico. *Reddi: Revista Digital del Departamento de Ingeniería*.

- Luna-Reyes, L. F., Gil-Garcia, J. R., & Celorio Mansi, J. A. (2011). *Citizen-centric approaches to e-government and the back-office transformation*. Paper presented at the Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times.
- Marc, C., & Moez, O. (2011). *citizen relationship management (CZRM). Evolution, drawbacks and how to resolve them*. Paper presented at the Seminar, University of Fribourg, Switzerland Department.
- Meyliana, P., Hidayanto, A. N., & Budiardjo, E. K. (2015). Social media adoption for social CRM in higher education: An Insight from Indonesian Universities. *International Journal of Synergy and Research*, 4(2).
- Mobahi, H. (2012). The Adoption of E-government Services by Employees in Iran: Case study: Rasht municipality.
- Nasirin, S., & Bahari, M. (2012). *A System Developer's Perspective Of Managing CiRM Implementation In Local Governments: Lessons From Malaysia*. Paper presented at the PACIS.
- Reddick, C. G. (2010). Impact of citizen relationship management (CRM) on government: Evidence from US local governments. *Journal of E-Governance*, 33(2), 88-99.
- Reddick, C. G., Abdelsalam, H. M., & Elkadi, H. A. (2012). Channel choice and the digital divide in e-government: the case of Egypt. *Information Technology for Development*, 18(3), 226-246.
- Sá, F., Rocha, Á., & Cota, M. P. (2016). Potential dimensions for a local e-Government services quality model. *Telematics and Informatics*, 33(2), 270-276.
- Tavana, M., Zandi, F., & Katehakis, M. N. (2013). A hybrid fuzzy group ANP-TOPSIS framework for assessment of e-government readiness from a CiRM perspective. *Information & Management*, 50(7), 383-397.
- Vilela, S. I. d. F. (2012). *A adoção de CRM numa autarquia: um estudo de caso na Câmara Municipal da Póvoa de Lanhoso*. Instituto Superior de Economia e Gestão.
- Ying, L. W., Nasirin, S., & Rizal, H. (2018). Successful CiRM systems implementation in local governments in labuan, malaysia: perspective of system developers. tourism, business and technology (*ICTBT 2018*), 121.
- Zaki, M. A. A.-R. (2017). Implementing customer relationship management in governmental organizations.
- Zamanian, M., Khaji, M. R., & Emamian, S. M. S. (2011). The value chain of citizen relationship management (CzRM): A framework for improvement. *African Journal of Business Management*, 5(22), 8909-8917.

Avaliação da robotica educacional no aprendizado de alunos de escolas públicas

Alysson de Souza Lemos¹, Francisco de Assis Brito Filho¹

alyssonsouzaa@gmail.com, francisco.brito@ufersa.edu.br

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 59780-000, RN, Brasil.

Pages: 337–343

Resumo: A robótica educacional é um meio tecnológico que visa o aprendizado lúdico, utilizando ferramentas que promovem a diversão do indivíduo ao mesmo tempo que propõe a aprendizagem. Neste trabalho é realizado um estudo sobre a influência da robótica educacional no aprendizado de alunos de ensino fundamental da rede pública de ensino do município de Caraúbas, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O estudo é feito através de uma pesquisa qualitativa baseada no ponto de vista dos professores, dos pais e dos próprios alunos (entre 12 e 14 anos), em relação à influência na sua educação exercida pela prática da robótica. A análise é realizada a partir de questionários e após a síntese dos dados, é feito um desenvolvimento gráfico para visualização e interpretação. Os resultados obtidos mostram uma influência positiva da robótica educacional no aprendizado dos alunos. Com isso, espera-se estimular a implementação de técnicas semelhantes de inclusão digital, visando despertar o interesse dos alunos e desenvolver competências como raciocínio lógico e a capacidade de resolução de problemas.

Palavras-chave: Robótica educacional, inclusão digital, ensino, aprendizagem.

Evaluation of educational robotics on the learning of public school students

Abstract: Educational robotics is a technological medium aimed at playful learning, using tools that promote the fun of the individual while proposing learning. In this work we study the influence of educational robotics on the learning of elementary school students from the public school system of the municipality of Caraúbas in Rio Grande do Norte, Brazil. Through a qualitative research based on the study from the point of view of teachers, parents and students themselves (Between 12 and 14 years) in relation to the influence on education exercised by robotics. The analysis is performed from questionnaires and after the synthesis of the data, is made a graphic development for visualization and interpretation. The results shows a positive influence of the robotics practice on the students learning and it is expected to stimulate the implementation of similar digital inclusion techniques aimed at arousing students' interest and developing skills such as logical reasoning and problem solving skills.

Keywords: Educational robotics, digital inclusion, teaching, learning.

1. Introdução

A robótica na educação trata-se de uma metodologia de ensino e aprendizagem baseada no uso de um programa de computador capaz de controlar um brinquedo, tornando a compreensão de um robô mais dinâmica e mais fácil de assimilar pelos alunos, podendo assim, estimular o envolvimento com a tecnologia, conforme Moraes (2010). No ambiente de robótica, são trabalhados com alunos, diversos conceitos interdisciplinares, de forma a fornecer uma espécie de inclusão digital e/ou despertar curiosidades e aprimorar conhecimentos no âmbito da tecnologia (Damasevicius & Plauska, 2007).

Estudos sobre as relações entre as ações pedagógicas e a tecnologia trouxeram a percepção que esta última, além de ser usada como ferramenta de ensino, propicia aos indivíduos, interações entre os mesmos, com questões de interesse, subjetividade ou até mesmo questões socioculturais como citava Plauska e Damasevicius (2014). Em outras palavras, as tecnologias da informação e comunicação estão transformando os processos educativos, criando novos espaços para as relações humanas. Partindo deste ponto de vista, Echeverria (2000) observou que uma reformulação de propostas pedagógicas é necessária, dessa forma, podendo complementar com Garcia (2009) que afirma que nenhuma instituição de ensino deve permanecer inerte em relação às mudanças sociais provocadas pelas tecnologias. O projeto de robótica educacional no município de Caraúbas-RN, através da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, funciona por meio de aulas ministradas em escolas da rede pública do município de Caraúbas por alunos da própria universidade com objetivo de estimular os estudantes de ensino fundamental a trabalhar suas habilidades e avaliar seu desempenho na Olimpíada Brasileira de Robótica que ocorre anualmente. Levando em consideração a importância do investimento na educação, principalmente na educação base do país, pode-se observar e levantar questões a serem discutidas e analisadas com intuito de validar ou corroborar o uso de tais formas de aprendizado como inclusão digital.

2. Ensino e tecnologia

A tecnologia é um dos muitos meios de facilitar a vida da sociedade, porém, a constante evolução do mundo em que se vive impõe sobre a população uma necessidade constante de adaptação aos novos avanços, o que é válido para qualquer âmbito de atuação, seja medicina, segurança, publicidade, entre outras. Com a educação não é diferente, contudo, é possível perceber que com os progressos tecnológicos é necessário criar uma certa adaptação dos padrões de educação (Mainart & Santos, 2008).

Estudos mostram que ainda que a implantação da utilização de meios tecnológicos na educação seja um tópico bastante discutido no Brasil recentemente, percebe-se que tal assunto não é levado tão a sério quanto deveria (Mainart & Santos, 2008), levando em consideração o alto número de alunos de escolas públicas que possuem um grande desinteresse no estudo das matérias comuns.

Resultados apresentados no Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), mostram que os jovens brasileiros estão em situação extremamente precária, mesmo que grande maioria possui acesso a escolas consideradas de qualidade, finalizam sua educação básica e chegam ao ensino superior com grandes deficiências no uso

de informações e conhecimentos de tipo científico para entender o mundo e serem capazes de resolver problemas e questões impostas, conforme Academia Brasileira de Ciências (2008).

A integração da educação com a tecnologia para Diniz e Santos (s.d.) pode ser apontada como maneira de incentivar os estudantes nos seus estudos, pois “A robótica tem demonstrado que crianças e adolescentes possuem certa facilidade em lidar com temas referentes a ciência. A robótica educacional incentiva os estudantes no estudo integrado com a tecnologia, que ao mesmo tempo estão sendo preparados para o mercado de trabalho, que é atualmente dominado puramente pela informação tecnológica. Devido ao fato da robótica educacional ser vista como uma grande brincadeira entre seus estudantes, o aprendizado torna-se um processo sociocultural (Diniz & Santos, s.d.).

Dentre vários métodos de aplicar inclusão, através do uso da robótica educacional, a aprendizagem social torna-se mais dinâmica e divertida. Como afirmava Silva (2015) é um processo de aprendizagem entre indivíduos que convivem no mesmo ambiente, facilitando assim, a interação social, acelerando o processo de aprendizagem através do conhecimento gerado pelo próprio indivíduo ao observar efeitos positivos ou negativos em determinada ação ou situação de outro indivíduo.

A autora Maritza Costa Moraes escreveu uma tese cujo tema era: Robótica Educacional: Socializando e produzindo conhecimentos matemáticos. No trabalho discutia-se sobre educação, tecnologia, e dentre muitos contextos, destaca-se a frase: Moraes (2010), “O papel do professor deve ultrapassar a figura de transmissor do conhecimento pronto e acabado, e passar a ser mediador e parceiro na construção da aprendizagem”. O educador, ao agir como mentor na construção do conhecimento, ajuda na aprendizagem do aluno, deixando de lado a imagem de veículo de saber que se segue sem questionar.

Moraes (2010) argumenta ainda que a tecnologia possui uma influência na sociedade de forma que define o mercado de trabalho no futuro, pois as tecnologias a serem criadas serão as responsáveis por grande parte dos empregos que ainda estão a ser definidos, pois dependem destas tecnologias. Sabe-se que o uso da robótica educacional na universidade facilita a interação do indivíduo com a tecnologia (Stuikvs & Burbait & Damasevicius, 2013). Contudo, projetos de extensão costumam surgir com a intenção de atuarem em meio à incluir das maneiras mais diversas, os indivíduos no meio digital, complementa Mainart (2008).

O projeto de extensão de Robótica Educacional da Ufersa Caraúbas – ROBOEDU atua desde 2013 com o intuito de estimular alunos de ensino fundamental da rede pública de ensino, a desenvolverem diversas habilidades e despertarem o interesse pela tecnologia.

Por meio da pesquisa realizada neste trabalho, é possível, com base nos dados, observar a influência da aplicação da robótica educacional como método de inclusão digital nos alunos de escolas públicas.

3. Metodologia

Os alunos atendidos pelo projeto de extensão em Robótica Educacional da Universidade Federal Rural do Semi-Árido da cidade de Caraúbas foram o objeto de pesquisa deste

trabalho. O projeto de extensão atende duas escolas da rede municipal de ensino, a Jonas Gurgel e a Leônia Gurgel, que tem uma média até 12 alunos atendidos cada, no início do semestre letivo. Foram elaborados questionários qualitativos com objetivo de se realizar a coleta e a análise de dados. Para a realização da pesquisa foram desenvolvidos questionários destinados aos pais e professores para analisar possíveis mudanças nos alunos causadas pela sua participação no projeto de robótica educacional, sejam de comportamento, responsabilidade, desempenho escolar ou mesmo nas relações com os pais ou professores, podendo assim verificar as respostas para análise final do trabalho. A amostra de alunos utilizada é correspondente a 75% da média total de alunos das duas escolas, ou seja, 15 de 24 alunos, já a amostra referente aos pais é exatamente igual ao número de alunos, pois o questionário foi aplicado a apenas um responsável por aluno. No caso dos professores, utilizou-se 100% da amostra disponível para estudo, ou seja, 13 professores no total, nas duas escolas. O semestre letivo das turmas dura aproximadamente um ano, tendo o questionário sido aplicado no final do mesmo.

4. Aplicação dos questionários

Após aplicação de todos os questionários foi possível realizar, através da síntese dos dados, a projeção de gráficos representativos que exibem de melhor maneira os resultados obtidos nas pesquisas.

Vale ressaltar que a amostra de cada categoria dos entrevistados, somando-se as duas escolas, foi:

- 75% da amostra de alunos entrevistados;
- 75% da amostra de pais entrevistados;
- 100% da amostra de professores entrevistados.

Com base nos dados obtidos nos questionários, foram sintetizadas as respostas em quatro gráficos representativos que tornaram possíveis os resultados que demonstram a ideia principal desse trabalho.

5. Resultados e discussões

Na Figura 1 pode-se observar o gráfico representativo dos dados coletados já sintetizados nos questionários referente à quantidade de alunos que já participou ou participa de algum projeto:

Baseado nos dados pode-se observar que mais da metade dos alunos nunca participou de outro projeto na escola. Ainda há uma falta de interesse dos alunos em conhecer novas tecnologias ou de terem a curiosidade em relação às tecnologias da informação e comunicação, o que pode ser uma adversidade, pois os alunos devem ter oportunidades de explorarem novas possibilidades não só como futuro profissional, mas como indivíduo. Neste sentido, tem-se que incentivar os discentes a se integrarem em atividades recreativas que possam estimulá-los e incentivar seu interesse pela tecnologia.

A figura 2 apresenta um gráfico onde é analisada interação dos alunos com os pais/professores, e na figura 3 é apresentado um gráfico que trata das mudanças observadas após estes terem participado da ação de inclusão.

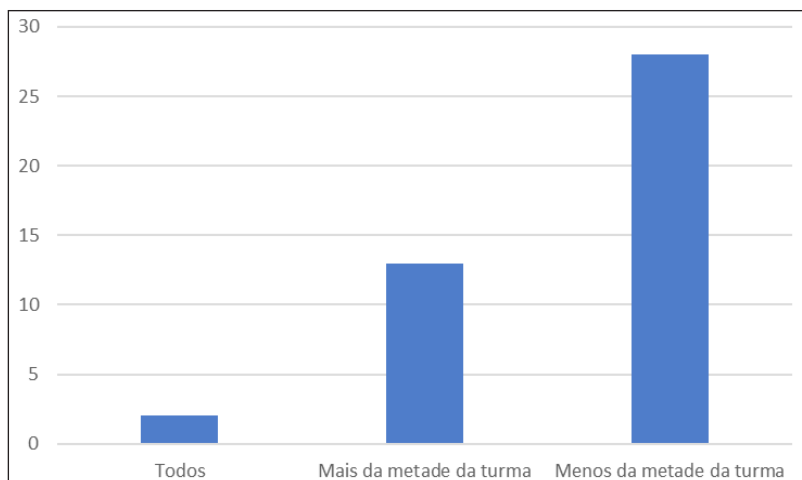


Figura 1 – Gráfico de análise de participação dos alunos em projetos extensão

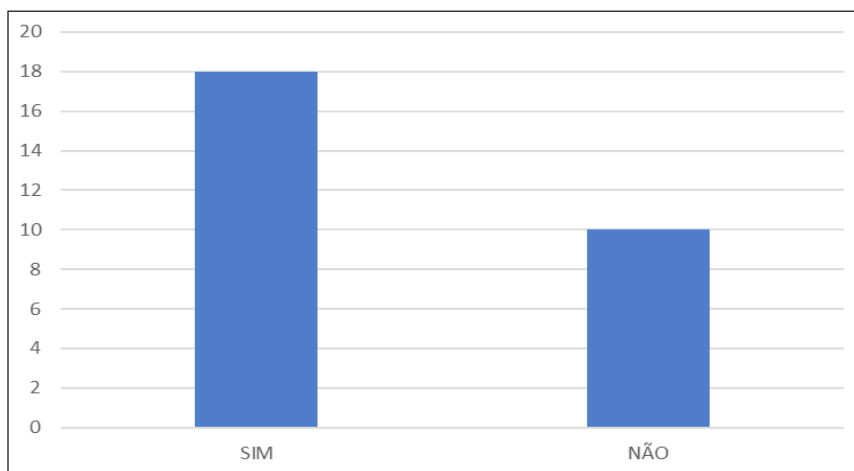


Figura 2 – Gráfico de análise de comunicação entre pais/professores e alunos

Os pais possuem grande responsabilidade no aprendizado de seus filhos, pois são seu maior instrumento de educação, agindo como mediadores, acompanhando seu desenvolvimento. Além disso, pode-se observar diversas mudanças positivas no comportamento dos discentes, como mais responsabilidade, maior foco nos estudos e melhorias no desempenho escolar. Tais pontos esclarecem o que deve ser fortalecido em relação ao aprendizado com a tecnologia, ao mesmo tempo que o estimula.

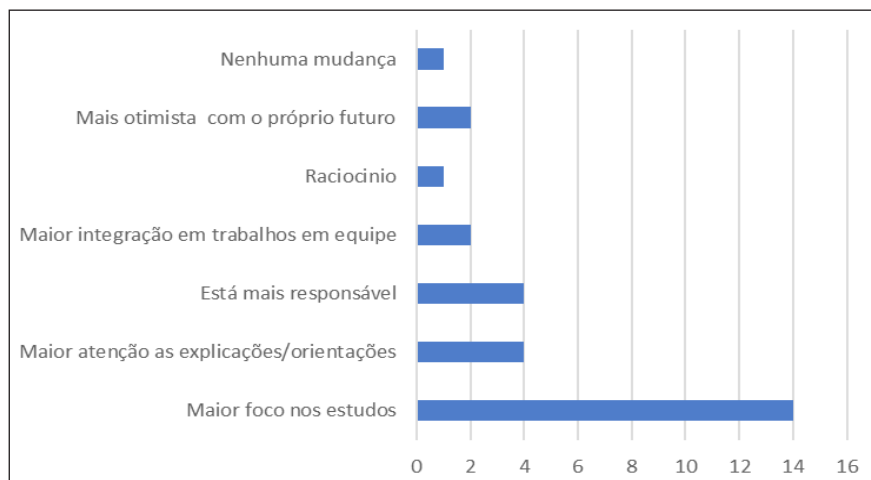


Figura 3 – Gráfico de análise de mudanças no comportamento de desenvolvimento dos alunos

Neste segmento da análise, o ponto de estudo também é a interação dos alunos com os professores e os pais, e a maneira como os discentes sofrem influência da robótica educacional do ponto de vista de seus mestres. Pode-se que em somente um caso não houve mudança de comportamento. Entretanto, com a grande maioria dos alunos, foi possível visualizar mudanças e melhorias no seu comportamento, seja em relação à melhora no rendimento escolar, no raciocínio, integração nos trabalhos em equipe e concentração nas aulas. A melhor forma de observar isso é deixar que os próprios pais e professores mantenham essa interação com os alunos, acompanhando de perto o desenvolvimento dos mesmos em casa ou na escola.

6. Considerações finais

Em síntese aos resultados adquiridos com a pesquisa qualitativa realizada tem-se alguns pontos a se discutir em relação à influência da robótica na educação, como, por exemplo, que o auxílio do projeto de extensão ajudou no aprimoramento da capacidade de raciocínio, criatividade e otimismo com o próprio futuro, por parte dos alunos. Além disso, os pais, que são os maiores influenciadores destes jovens, conseguem notar diferenças no comportamento de seus filhos devido à atuação da robótica educacional, tais como, maior comprometimento com as atividades escolares e melhor desempenho escolar. Pode-se comentar ainda, baseado nos resultados obtidos com os professores, que houve um aumento considerável na concentração dos alunos em relação às atividades de sala de aula.

Observa-se de um modo geral a necessidade de incentivar a participação de alunos do ensino fundamental em ações de extensão deste tipo e a necessidade de maior interação entre estes com os professores e pais.

Os resultados foram satisfatórios, e apontam para o incentivo de investimentos em projetos e iniciativas de inclusão digital semelhantes, que considerando a importância de empregar fundos na educação, reduz o nível de exclusão da sociedade em relação às novas tecnologias.

Em relação a futuras pesquisas, novas análises podem ser feitas utilizando diferentes amostras, no caso, outras escolas da rede pública que participem ou já participaram da ação de extensão, enriquecendo assim, os resultados da pesquisa inicial.

Referências

- Moraes, Maritza. (2010). *Robótica Educacional: Socializando e Produzindo Conhecimentos matemáticos*. Rio Grande. BR.
- Damasevicius, Robertas., & Plauska, Ignas. (2007). *Advances in the Use of Educational Robots in Project-Based Teaching*. Kaunas University of Technology. LTU.
- Plauska, Ignas., & Damasevicius, Robertas. (2014). *Educational Robots for Internet-of-things Supported Collaborative Learning*. Kaunas University of Technology. LTU.
- Echeverria, J. (2000). *TICen la educación/TICna educação*. In: *Revista Iberoamericana de Educación*. Sep 24.
- Garcia, Maria Cristina. (2009). *Robótica Educacional e Aprendizagem Colaborativa No Ensino De Biologia: Discutindo Conceitos Relacionados ao Sistema Nervoso Humano*. Goiânia. BR.
- Mainart, Domingos de A., & Santos, Ciro M. (2008). VII Convibra Administração. BR.
- Ciências, Academia Brasileira. (2008). *A importância da tecnologia no processo ensino-aprendizagem*. O Ensino de ciências e a educação básica: propostas para superar a crise. RJ. BR.
- Diniz, R., & Santos, M. s.d. *A Utilização da Robótica Educacional LEGO nas aulas de Física do 1º ano do ensino médio e suas contribuições na aprendizagem*. MG. BR.
- Silva, Alzira. (2015). *RoboEduc: Uma metodologia de aprendizado com robótica educacional*. RN. BR.
- Stuikys, Vytautas., Burbait, Renata., & Damasevicius, Robertas. (2013). *Teaching of Computer Science Topics Using Meta Programming-Based GLOs and LEGO Robots*. Kauna University of Technology. LTU.
- D'Abreu, J. V. V. (1999). *Desenvolvimento de Ambientes de Aprendizagem Baseados no Uso de Dispositivos Robóticos*. PR. BR.
- Mindstorms, Lego. (2013). *Guia do usuário*.

Determinación de procesos de remoción en masa utilizando técnicas de inteligencia computacional

Julieth N. Acosta A.¹, Erika S. Upegui²

jnacostaa@correo.udistrital.edu.co, esupegui@udistrital.edu.co

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Cra. 7 # 40b 53, 110231, Bogotá, Colombia.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Cra. 7 # 40b 53, 110231, Bogotá, Colombia.

Pages: 344–359

Resumen: Este proyecto toma como caso de uso el estudio de remoción en masa que se presenta en el municipio de Cáqueza Cundinamarca, zona con movimientos de tierra ocasionados por intervenciones antrópicas y por condiciones geológicas, geomorfológicas, relieve y de cobertura de la tierra propias de la región que hacen que estos fenómenos se acrecienten. Como insumos para buscar la predicción de los movimientos en masa, se utilizó información de Geología y Geomorfología, útil para conocer las características de los suelos, en conjunto con un estudio multitemporal de usos del suelo que permite determinar posibles factores que producen el movimiento en masa. El análisis se realizó con el uso y la aplicación de redes neuronales debido a que dentro de los sistemas de inteligencia artificial presentó un menor error medio cuadrático con respecto a la clasificación de Amenazas por remoción en masa la generación de modelos de predicción con datos geográficos.

Palabras-clave: Movimiento en masa, Redes Neuronales, Modelos de Predicción, Usos del suelo.

Determination of mass removal processes using computational intelligence techniques

Abstract: This project takes as a case of use the study of mass removal that is presented in the municipality of Cáqueza Cundinamarca, an area with earthworks caused by anthropic procedures and geological, geomorphological, relief and land cover of the region that They make these phenomena increase. As inputs to seek the prediction of mass movements, information on Geology and Geomorphology can be obtained, useful to know the characteristics of the soils, together with a multitemporal study of land uses that allows determining possible factors that produce movement in mass. The analysis was carried out with the use and application of neural networks because it is within the artificial intelligence systems presented a minor error quadratic average with respect to the classification of threats by mass removal the generation of prediction models with geographical data.

Keywords: Mass movement, Neural Networks, Prediction Models, Land use.

1. Introducción

Uno de los fenómenos naturales que puede afectar de forma negativa, es el proceso de remoción en masa, causado por las características específicas del terreno como el tipo de suelo, la geología o las fallas que se puedan presentar desde el punto de vista geomorfológico, este, a diferencia de los procesos de erosión que contempla el escurrimiento superficial difuso en los suelos descubiertos de vegetación en pendientes donde ha actuado la saltación pluvial, es un proceso que involucra el movimiento de material formador de ladera por influencia de la gravedad sin transporte de fluido (Alcántara Ayala, García, & Giselle, 2008). Cuando al fenómeno de remoción en masa se le suma los asentamientos humanos localizados en laderas inestables, se magnifica la condición de riesgo. La importancia del estudio de la remoción en masa radica en alertar sobre posibles afectaciones a la comunidad, por lo cual, el objetivo de estos estudios es apoyar los procesos de prevención.

Los factores que favorecen los procesos de remoción en masa se resumen en: la geología con características de materiales débiles; los procesos físicos, entre ellos la precipitación, sismicidad y erupciones volcánicas; la morfología y la actividad antrópica (Borja Baeza & Alcántara Ayala, 2004).

En lo que respecta a las aplicaciones del análisis de afectaciones por remoción en masa en el territorio, en el estudio realizado por González (2011) se analizaron precipitaciones extremas y las implicaciones de estas afectaciones ocurridas en la ciudad de Tampico, ubicada en la cuenca baja del río Pánuco, México. Se utilizó una metodología donde aplicó las herramientas de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la agregación de los datos hidrometeorológicos y geomorfológicos, posibilitando el análisis de las variaciones espacio-temporales de las precipitaciones extremas, y sus implicaciones en la evaluación y zonificación de los procesos de remoción en masa, cuyos resultados fueron útiles para la planificación urbana de esa población. Los procedimientos de zonificación de áreas en riesgo, están definidos por el grado de vulnerabilidad de la población, estrechamente relacionados entre otros factores por las propiedades de los materiales del suelo y al relieve, elementos que al ser conocidos permiten la delimitación de las zonas susceptibles a inestabilidad de laderas, plasmar los resultados en mapas de riesgo que pueden ser empleados para la elaboración de planes de prevención de desastres y la mitigación del riesgo, así como en la planeación del crecimiento de las poblaciones con lo que sin lugar a dudas las autoridades contarían con elementos para brindar atención específica a los casos que así lo requieran.

Entre los estudios encontrados al revisar el estado del arte se encuentra el desarrollado por Cartaya, Méndez, & Pacheco (2006), en el cual para la modelación de zonificación de zonas de amenaza por remociones en masa se estableció una ponderación para las variables influyentes de la siguiente forma: La geología de superficie se le asignó un peso del 40%, la geomorfología con 30%, la pendiente media del terreno con 20% y los conflictos de uso con 10%. Estos porcentajes se atribuyeron según la intervención que cada variable tiene en la génesis de los procesos de remoción en masa. Se le otorgó el valor más alto a la geología, ya que ésta jugó un papel fundamental en los eventos de movimientos en la zona. Las unidades geomorfológicas empleadas están estrechamente

vinculadas a la geología y a las condiciones climáticas del área, por lo que se les dio el segundo peso en la ponderación. “En cuanto a la pendiente media del terreno, aunque este factor es ampliamente mencionado en la literatura, como el de mayor influencia en los procesos de remoción en masa, en el caso particular de la microcuenca en estudio, el intervalo de 3-18% fue donde sucedieron más desplazamientos de material; por ello se le concedió sólo el 20% del total. Los conflictos de uso al igual que las pendientes, no tuvieron relevancia, ya que precisamente en donde no hay conflictos de uso, fue la zona con mayor densidad de procesos de remoción en masa”, que a diferencia de las redes Neuronales los pesos son asignados por los algoritmos según la arquitectura de los mismos, esto permite tener un modelo de predicción más confiable.

En otro estudio encontrado se realizó el estudio de susceptibilidades a deslizamientos a partir de Redes Neuronales Artificiales y Análisis de Clúster, con el objetivo de utilizar las redes para moldear las relaciones no lineales y reconocer factores de condicionamiento para la zonificación, el análisis de clúster se utiliza para dar una mejor selección de los registros de entrenamiento y validación, arrojando los mejores resultados para la red de perceptrón multicapa, encontrando que una estrategia de muestro precisa supera los resultados del muestreo aleatorio (Melchiorre, Matteucci, Azzoni, & Zanchi, 2008)

Múltiples estudios se han centrado en la búsqueda e identificación de las variables que determinan riesgo a las poblaciones por posibles eventos de remoción en masa, este trabajo busca la identificación de esas variables de riesgo que se puedan presentar en el municipio de Cáqueza (Cundinamarca – Colombia), utilizando técnicas de inteligencia computacional.

2. Redes Neuronales y Tipos de Modelado

Las redes neuronales artificiales son una técnica supervisada de aprendizaje automático, que describe las relaciones de un conjunto de datos que conforman las variables que dan explicación a un fenómeno o proceso. Una de las ventajas del uso de esta técnica es la gran cantidad de datos que se pueden utilizar o modelar, una de las características más aportantes se deriva de poder reconocer valores atípicos o ruidos que no son eficientes para el estudio de los datos (Beucher, Møller, & Greve, 2017) such as nutrient cycling and greenhouse gas fluxes. Consequently, soil drainage maps represent crucial tools for crop, forest and environmental management purposes. As extensive field surveys are time- and resource-consuming, alternative spatial modelling techniques have been previously applied for predicting soil drainage classes. The present study assessed the use of Artificial Neural Networks (ANN). Existen diferentes tipos de redes neuronales formuladas, entre las más mencionadas está el perceptrón simple, técnica conformada por dos capas de neuronas, por la primera capa entran todos los datos y en la segunda capa se realiza todo el procesamiento (Riyahi, Kleinn, & Fuchs, 2009). Los trabajos recientes sobre redes neuronales artificiales utilizadas para modelos complejos como por ejemplo la descripción de las funciones acústicas para el reconocimiento automático de voz, han demostrado mejoras sustanciales en el rendimiento, un ejemplo de esto es la definición del modelo que utiliza una red neuronal de auto encodido recurrente profunda para eliminar las características de entrada para modelos robustos.

Esto se realiza mediante entrenamiento de funciones de audio estéreo (ruidoso y limpio), para predecir características limpias cuando hay entradas ruidosas. El modelo no hace suposiciones sobre cómo el ruido afecta la señal, ni la existencia de entornos de ruido distintos, en cambio, el modelo puede aprender a modelar cualquier tipo de distorsión o ruido aditivo con suficientes datos de entrenamiento (Maas, Le, O’Neil, Vinyals, Nguyen, & Ng, 2012).

Analizando otra aplicación de redes neuronales, en el trabajo de investigación de Krizhevsky, Sutskever, & Hinton, (2012), se realiza la clasificación de imágenes con redes neuronales de convoluciones profundas, allí se encontró que la red neuronal que tiene 60 millones de parámetros y 500,000 neuronas, consta de cinco capas convolucionales, algunas de las cuales son seguidas por capas de acumulación máxima, y dos capas conectadas globalmente. Para que el entrenamiento sea más rápido, se usa neuronas no saturantes y una implementación de Unidades de procesamiento de Gráficos muy eficiente de redes convolucionales, con ello se reduce el sobreajuste en las capas conectadas globalmente, empleando un nuevo método de regularización que demostró ser muy efectivo. Las redes neuronales convolucionales profundas (CNN) ofrecen un gran potencial para extraer características espaciales de alto nivel, gracias a su naturaleza jerárquica con múltiples niveles de abstracción. Sin embargo, para el uso en estos procesos de análisis de datos geográficos, los límites de objetos borrosos y la distorsión geométrica, así como la gran redundancia computacional, restringen severamente la posible aplicación de CNN para la clasificación del uso del suelo urbano como se menciona en el estudio de investigación de redes neuronales basadas en objetos para la clasificación del uso del suelo (Zhang, Sargent, Pan, Li, Gardiner, Hare, & Atkinson, 2018).

En el estudio realizado por Aditian, Kubota, & Shinohara (2018) se evaluaron los factores causales de deslizamiento de tierra y se compararon los modelos basados en relación de frecuencia binaria, la regresión multivariada y las redes Neuronales artificiales, encontrando que los factores causantes para la zona de estudio en Ambom - Indonesia eran la elevación, la pendiente, la litología, la geología, las fallas y la red vial; la validez y precisión de los modelos se midieron calculando las áreas bajo la curva, encontrando buenos resultados en los 3 métodos, sin embargo el modelo que explica mejor el fenómeno de remoción en masa fue La red Neuronal Artificial.

Las redes Neuronales que se utilizaron en el estudio de este artículo se seleccionaron al encontrar buenos resultados en el estado del arte realizado, adicionalmente se utilizó un clasificador para revisar la eficiencia y comparación entre los resultados obtenidos mediante el cálculo por una red Neuronal y un algoritmo de clasificación. Se describen a continuación.

A. Feed Forward Backpropagation

Esta red (figura 1) se caracteriza por conocer la salida y por ir ajustando los pesos y los coeficientes de tal manera que son llevados al mínimo error posible, el error se va midiendo según los valores de la salida esperados, esto entendiendo que el sistema de la red está compuesto por una capa de entrada, la capa de salida y las capas ocultas. Esta red también es llamada como red multicapa (MLP, por sus siglas en ingles), son

conocidas estas redes por que la información fluye a través de la función que se evalúa a través de los cálculos intermedios (Contreras, Maldonado, León, 2019).

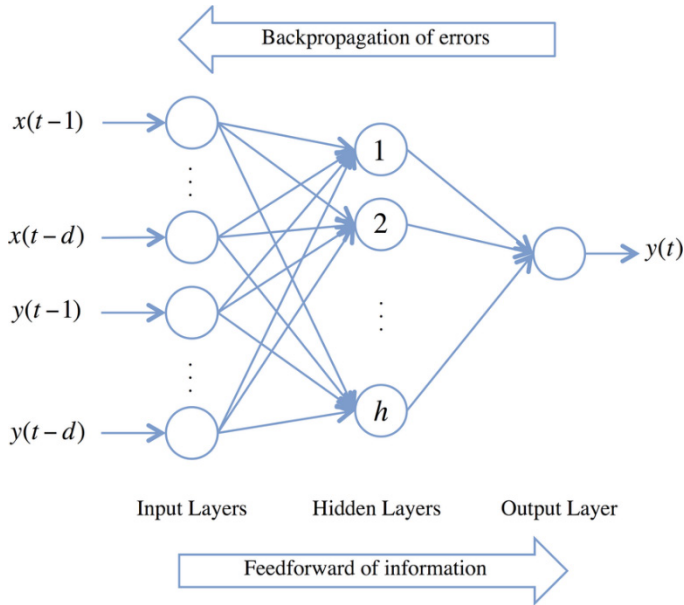


Figura 1 – Estructura de la red Feed Forward
Fuente: (M'ng & Mehralizadeh, 2016).

En el algoritmo de propagación hacia atrás (Backpropagation), los valores de corrección se propagan a la red anterior, las redes de alimentación suelen tener una o más capas ocultas sigmoides y neuronas seguidas por una capa de salidas de neuronas lineales. La estructura de esta red permite aprender relaciones no lineales y lineales entre vectores de entrada y salida (Contreras, Maldonado, León, 2019).

Para el procesamiento para implementar Feed Forward, como primer paso se dan los vectores de entrada en la ecuación 1:

$$X_p = [X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pn}]^T$$

Ecuación 1

Se calcula la entrada neta de la j -ésima neurona de la capa oculta, como se muestra en la ecuación 2.

$$Neta_{jp}^h = \sum_i^N w_{ji}^h x_{pi} + \theta_j^h$$

Ecuación 2

Se calcula la salida de la neurona con la función de activación, como se muestra en la ecuación 3.

$$i_{jp}^h = f_j^h(Neta_{jp}^h)$$

Ecuación 3.

Una vez calculadas las salidas de las neuronas de la capa oculta, éstas se convierten en las señales de excitación de las neuronas de la capa de salida y así podemos calcular la entrada neta de la k-ésima neurona de la capa de salida, la ecuación que define esto se puede ver en la ecuación 4:

$$Neta_{pk}^h = \sum_{j=1}^L w_{kj}^o i_{pj}^o + \theta_k^o$$

Ecuación 4.

Con base en la función de activación de la k-ésima neurona de la capa de salida se puede calcular la salida estimada por la red neuronal ante el estímulo de entrada, expresado en la ecuación 5:

$$y_{pk} = f_k^o(Neta_{pk}^o)$$

Ecuación 5.

Se calcula los términos de error para las unidades de salida, expresado en la ecuación 6.

$$d_p k^o = (d_p k + y_p k^o) f_k^{o'}(Neta_{pk}^o)$$

Ecuación 6.

Se estiman los términos de error para las unidades ocultas, expresada en la ecuación 7.

$$d_{pj}^h = f_j^{h'}(Neta_{pj}^h) \sum_{k=1}^M d_{pk}^o w_{jk}^o$$

Ecuación 7.

Se realizar la actualización pesos en la capa oculta, expresado en la ecuación 8.

$$w_k j^o(t+1) = W_k j^o(t) + d_p k^o i_p j^h$$

Ecuación 8.

Se verifica si el error global cumple con la condición de finalizar, y si es así el cálculo termina, según lo encontrado en Contreras, Maldonado, León, (2019)., expresado en la ecuación 9.

$$E_p = 1/2 \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^M (d_{pk} - y_{pk})^2$$

Ecuación 9.

B. Elman Backpropagation

La Red Neuronal Elman aprende representaciones internas de secuencias de tiempo en el entrenamiento de retropropagación conocido como Elman Backpropagation. Las arquitecturas de las redes recurrentes poseen una dimensión que depende de la longitud masiva de las secuencias de entrada, a su vez la red posee varias características que hacen que tengan resultados favorables en el desempeño, ya que puede converger al valor esperado rápidamente, teniendo un buen resultado de efectividad debido a la retroalimentación de este tipo de redes. Sin embargo esta eficiencia tiene un costo importante en el procesamiento (Song, Soh, & Zhao, 2009)

C. Máquinas de soportes vectoriales (Clasificador)

Las máquinas de vectores de soporte (SVM, por sus siglas en inglés) pertenecen a una clase de algoritmos de Machine Learning denominados métodos kernel, también conocidos como máquinas kernel. Son un conjunto de algoritmos de aprendizaje, se han utilizado SVM para solucionar problemas de clasificación y regresión relacionados a la predicción de series de tiempo, mostrando ser mejores en comparación a otras metodologías tradicionales como modelos econométricos y en algunos casos a modelos de aprendizaje de máquina. Existen los casos que son linealmente separables y los casos que no son linealmente separables. En cuanto a los casos que son linealmente separables, para variables no negativas se obtiene el entrenamiento de una máquina de vectores de soporte que consta de dos fases: la primera fase se ocupa de transformar los predictores (datos de entrada) en un espacio de características altamente dimensionales. En esta fase es suficiente con especificar el kernel; los datos nunca se transforman explícitamente al espacio de características, proceso que se conoce comúnmente como el truco kernel. La segunda fase resuelve un problema de optimización cuadrática que se ajusta a un hiperplano óptimo para clasificar las características transformadas en dos clases. El número de características transformadas está determinado por el número de vectores de soporte (Matlab, 2014).

3. Materiales y Métodos

3.1. Zona de estudio

El municipio de Cáqueza (Figura 2) se encuentra situado en el oriente del departamento de Cundinamarca, su temperatura media es de 20 °C, la altura al nivel del mar es de 1.746 m, precipitación media de 1.150 mm y una extensión total de 120 Km².

Las coberturas de suelo que se encuentran en mayor proporción en el municipio son: bosques plantados, rastrojos, pastos naturales, cultivos, superficies de agua, afloramientos rocosos y arenas erosionadas. Según el acuerdo vigente de ordenamiento territorial del municipio de Cáqueza, dentro de las amenazas y riesgos que existen en el municipio se encuentran los ocasionados por sísmica y por movimientos en masa. Las unidades de actitud del suelo presentes son: clase IV la cual se caracteriza por presentar un relieve ligeramente ondulado, con limitaciones moderadas por pendientes, donde se deben realizar drenajes para la evacuación en épocas de lluvia; VI que son terrenos con susceptibilidad a la erosión por ser suelos superficiales; VII los cuales presentan

limitaciones por fuertes pendientes y clima seco; y VIII suelos para protección y conservación por presentar estrictas limitantes, con pendientes superiores a 50%.

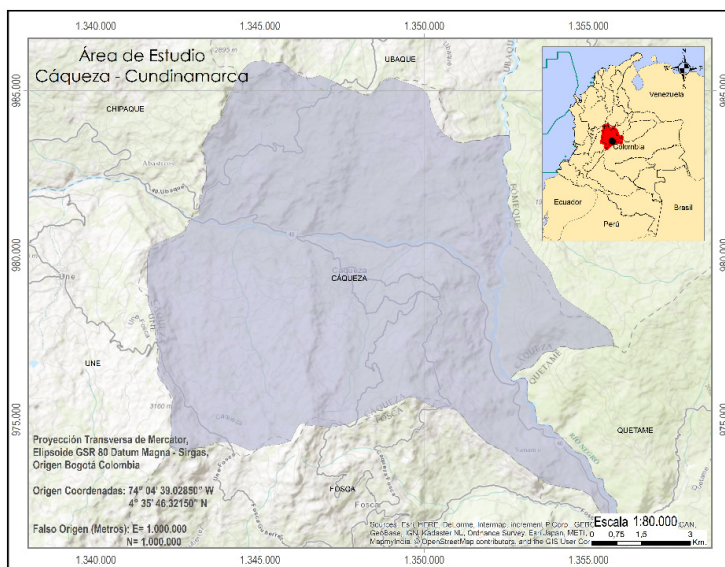


Figura 2 – Localización Cáqueza-Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.2. Datos

La guía metodológica establecida por el Servicio Geológico Nacional (SGN, 2017) para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, es utilizada para el cálculo del mapa de amenazas por remoción en masa. Los datos utilizados como insumo para la construcción del mapa son los siguientes: Clase de suelo en la figura 3 (A), tipo de relieve figura 3 (B), Fallas y Geomorfología figura 3 (C), vías y caminos figura 3 (D), drenajes figura 3 (E), coberturas de la tierra figura 3 (F), precipitación figura 3(G), pendientes en grados figura 3 (H) y la variable de salida Amenaza por remoción en masa figura 3 (I).

La espacialización de cada una de las variables mencionadas para la zona de estudio se ilustra en la figura 3.

El área de cubrimiento del municipio de Cáqueza, correspondiente al área de estudio, es de 11.400 ha aproximadamente, las capas de información utilizadas son extraídas de los datos abiertos de Colombia página (<https://herramientas.datos.gov.co/>) y corresponden a datos disponibles a escalas de detalle 1:100.000.

Para la conformación del conjunto de datos para el procesamiento, se extraen con puntos de muestreo distribuidos con una separación de 100 metros, con el fin de tener datos que cubran toda el área de estudio definida; siguiendo la normatividad del IGAC descrita en la en la resolución 1392 de 2016, con lo que se obtiene un conjunto de datos total de 11262 puntos, los cuales se encuentran clasificados por las clases según grado de amenaza identificada en el municipio (figura 3 (I)), 3 clases a saber: media, alta y muy alta.

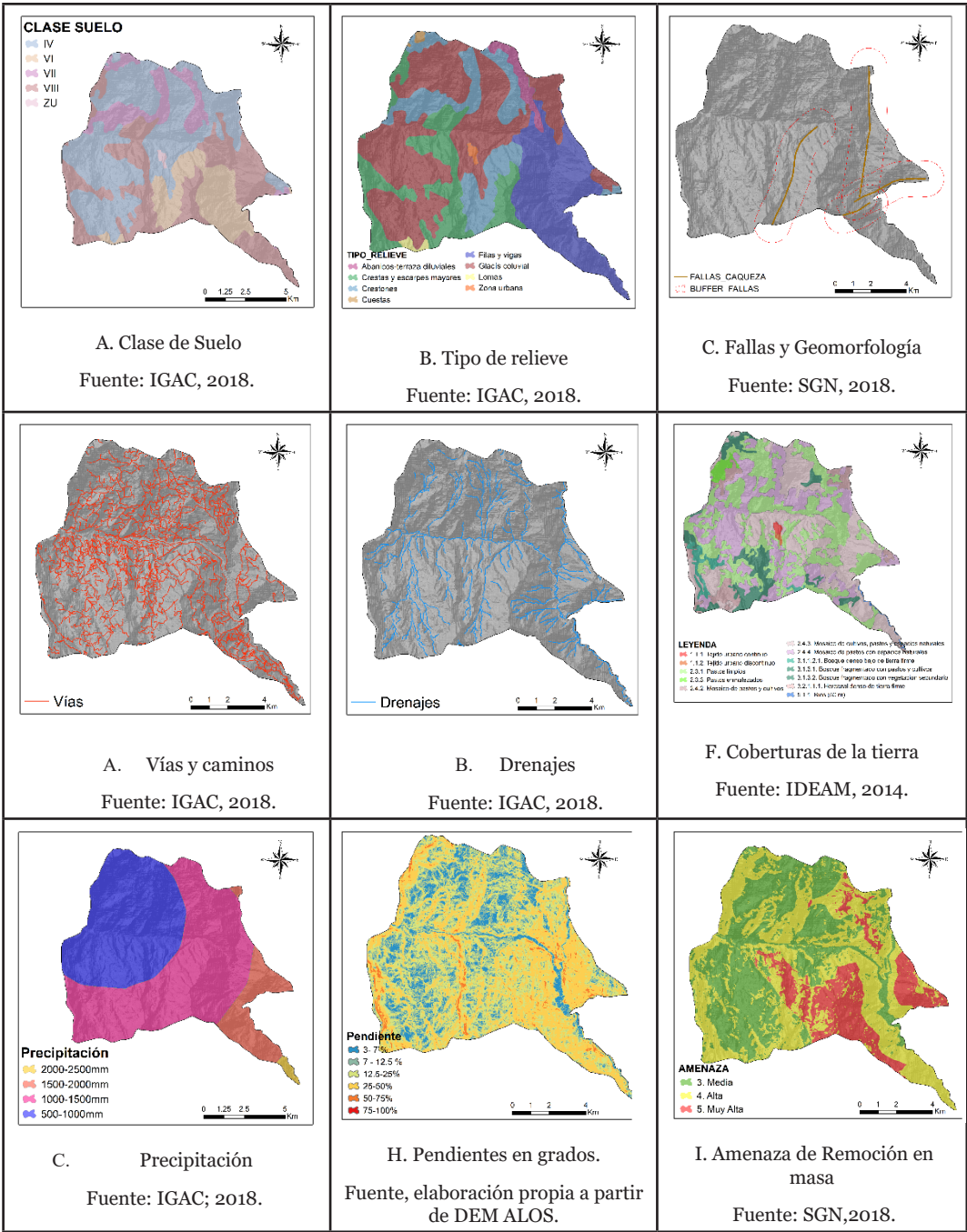


Figura 3 – Datos insumo descriptivos de las variables en la zona de estudio

3.3. Metodología

La figura 4 muestra la metodología implementada para preparar los datos tanto para la fase de entrenamiento como para la validación. En la primera etapa se realiza la selección de la información de entrada es decir la extracción de datos por muestreo, esto se realizó tomando un punto de muestro cada 100 metros para cada una de las capas; en la segunda etapa es asignar el valor de la clase a los datos seleccionados; en la tercera etapa se seleccionan los datos aleatoriamente para definir los datos que entrenan la red y los datos que serán parte de la validación del modelo. Mediante minería de datos se realiza la revisión de las variables para revisar si son linealmente separables y si son aportantes al cálculo del modelo. Se entrenan los modelos, realizando variación en las capas y Neuronas ocultas para verificar la mejor combinación posible, luego el modelo entrenado se evalúa con los datos destinados a esa función y se verifica mostrando los resultados para cada modelo.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron todas las variables anteriormente descritas, para las cuales se realizó la asignación de valores entre 0 y 1 (Rodríguez, 2012), para los elementos lineales como los son vías y drenajes se calcularon áreas de influencia

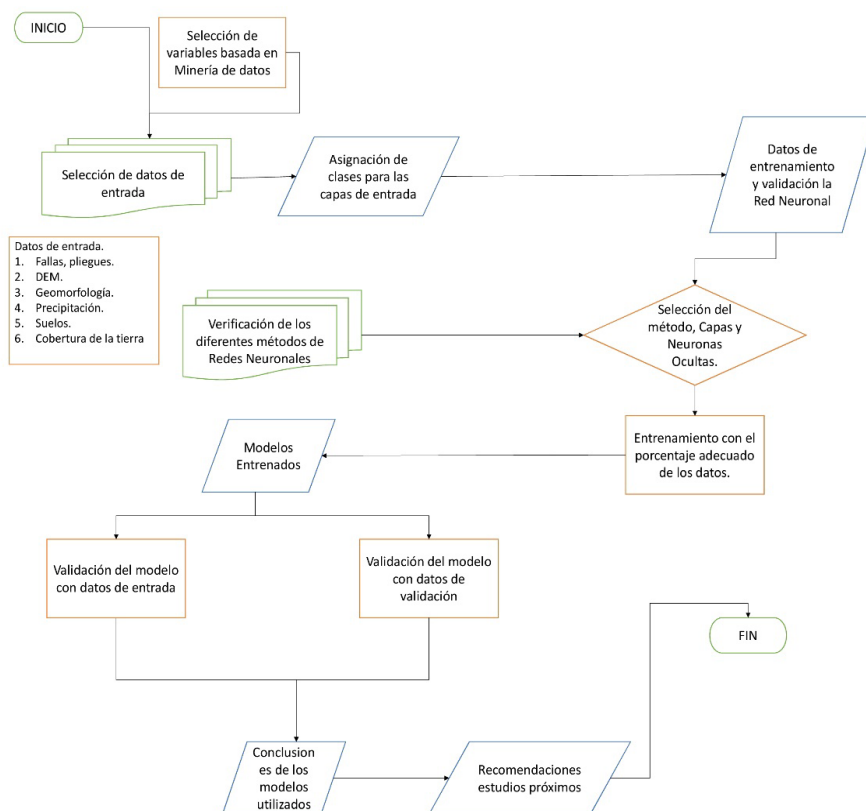


Figura 4 – Metodología Implementada.

definidas con distancias de 30 metros a lado y lado del eje del elemento, distancia correspondiente al intervalo mínimo definido por las corporaciones autónomas regionales CAR, como áreas de protección de cuerpos de agua. Para las fallas se generó un área de influencia radial de 1 km, tratando de establecer las áreas que sobre el terreno pueden tener afectación. Se trabajó con el software Matlab para lo cual todos los datos que se encontraban en formato vectorial se exportaron a formato raster, consiguiendo cargar los datos de entrada como matrices numéricas.

El método de la investigación tuvo 4 fases, la primera correspondiente a la revisión de los datos utilizados para el modelo, donde se definieron 8 variables (Clase de suelo, tipo de relieve, fallas y geomorfología, vías y caminos, drenajes, coberturas de la tierra, precipitación, pendiente en grados), las variables establecidas se transformaron a formato raster para que los datos se trabajaran espacialmente con un mismo espaciado, luego de este proceso se realiza el muestro tomando puntos cada 100 metros sobre el área geográfica del municipio de Cáqueza.

En la fase 2 de la investigación se realiza la asignación de clases correspondientes a las 3 definidas en la capa de amenazas por remoción en masa (Media, alta y muy alta) y se selecciona el porcentaje de datos del muestreo que serán parte del entrenamiento y los datos que serán guardados para la validación de los modelos, esta selección se realiza de forma aleatoria tomando como base el porcentaje de cubrimiento de cada clase de amenaza para tener un muestreo proporcional por cada clase, el resultado de esta fase son los datos de entrenamiento y de validación.

En la fase 3 se realiza el entrenamiento de las redes (Feed Forward Backpropagation y Elman Backpropagation) con diferentes configuraciones variando las capas ocultas y las neuronas disponibles en cada capa, este trabajo permite diferenciar las configuraciones que mejor describen el proceso geográfico estudiado, adicionalmente se toma el algoritmo de clasificación máquinas de soporte vectorial disponibles en Matlab para verificar diferentes métodos que permitan dar modelos de predicción del fenómeno evaluado, los resultados de esta fase son los modelos entrenados para ser validados en la cuarta fase.

En la cuarta fase se validan los modelos con los datos que se dejaron inicialmente para este proceso, y se evaluó los resultados obtenidos.

4. Resultados y Análisis de Resultados

Una vez se tiene la asignación de valores de 0 a 1 por cada una de las variables se identifican los porcentajes de muestro según el área geográfica que ocupa cada clase, las zonas delimitadas como amenaza de remoción en masa se identifican: la clase media con un 46 % de cubrimiento sobre el área del municipio, la clase alta con un 36%, y con clase muy alta el 18%. Estos datos fueron cargados en el programa Matlab, para ejecutar la etapa de entrenamiento y validación. El primer análisis que se realiza con el uso de la

Herramienta de Matlab es el de máquinas de soporte mediante las apps disponibles de aprendizaje de máquina.

Se realizó la clasificación de los datos tomando el 70 % de los datos para entrenamiento, es decir 7.883 registros y 30% para la validación de los modelos, es decir 3.379 datos. Se realiza el muestro por clase, es decir 70% de los registros que se tienen para cada clase manteniendo así la distribución de las clases existentes dentro de la zona. El total de los datos utilizados se muestran en la Tabla 1: 37% de los datos para amenaza de remoción en masa clase media, 46% de los datos corresponden a la clase de remoción en masa alta y un 17% para la clase muy alta.

Amenaza por remoción en masa	# datos Entrada	# datos Validación	Total
Media	2921	1252	4173
Alta	3658	1568	5226
Muy Alta	1304	559	1863
Total	7883	3379	11262

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del estudio.

Tabla 1 – Datos para el entrenamiento y validación

Los resultados obtenidos para cada uno de los métodos empleados se muestran y se analizan a continuación: para el método de Maquinas de Soporte Vectorial entre las posibilidades para ejecutarse se tienen las funciones: lineal, Cubica y Gaussiana. Se realizaron pruebas con todas las combinaciones posibles para determinar cuál funciona mejor con los datos geográficos. Los mejores resultados se dan con la función Gaussiana donde se obtuvo un porcentaje de acierto del 64 %. La figura 5 muestra la matriz de confusión obtenida con los datos de validación, en esta se puede determinar los falsos negativos para cada clase, correspondiendo en el grafico los valores de: cero (0) para clase media, cero puntos cinco (0,5) para la clase alta y uno (1) para la clase muy alta. Con un porcentaje de datos de validación del 30 % se encuentra un mayor error al clasificar la clase correspondiente a amenaza muy alta.

Para los siguientes métodos de estudio se utilizaron las Redes Neuronales Artificiales Feed Forward Backpropagation y Elman Backpropagation.

Se cargan como primer paso los datos seleccionados para el entrenamiento, luego como paso dos se realiza el entrenamiento para cada una de las redes, para posteriormente hacer la validación de los modelos. En la tabla 2 se muestra los errores obtenidos en las redes empleadas en el entrenamiento y los errores en las validaciones realizadas. Se calculan los errores para cada red, teniendo en cuenta el error que se tuvo para las clases de salida definidas en la zona, donde se pudo observar que los mayores RMSE encontrados en las diferentes configuraciones de las dos redes estudiadas se obtuvieron en la clase de remoción en masa muy alta. Esto pasa por que la cantidad de datos de entrenamiento con respecto a las demás clases son menores.



Figura 5 – Matriz de confusión Modelo Fine Gaussian SVM.

Realizando la evaluación de los datos obtenidos en la validación de los métodos utilizados, se evidencia que los resultados son muy similares, sin embargo, Elman Backpropagation obtiene mejores resultados ya que alcanza un menor error que el método de Feed Forward Backpropagation. En el performance como se evidencia en la tabla 2 para la red Elman Backpropagation son menores los errores encontrados para cada una de las clases, tomando valores de RMSE entre 0.093 y 0.1, mientras el Feed Forward alcanza errores de 0.103.

RED	CONFIGURACIÓN	PERFORMANCE ENTRENAMIENTO TOTAL	PERFORMANCE VALIDACIÓN TOTAL	RMSE AMENAZA MEDIA	RMSE AMENAZA ALTA	RMSE AMENAZA MUY ALTA
Feed Forward Backpropagation	2 capas; 10,5 neuronas	0,071	0,09	0,03	0,2	0,7
Feed Forward Backpropagation	1 capa; 5 neuronas	0,082	0,1	0,13	0,04	0,21
Feed Forward Backpropagation	3 capas; 5 neuronas c/u	0,074	0,103	0,2	0,5	0,55
Elman Backpropagation	2 capas; 10,5 neuronas	0,068	0,093	0,12	0,04	0,14
Elman Backpropagation	1 capa; 5 neuronas	0,07	0,1	0,12	0,05	0,18
Elman Backpropagation	3 capas; 5 neuronas c/u	0,073	0,98	0,13	0,04	0,19

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Tabla 2 – RMSE obtenidos de las RNN empleadas.

Al realizar la evaluación de los 3 algoritmos utilizados se evidencia que el resultado obtenido con máquina de soportes vectoriales tuvo errores notables sobre todo al diferenciar la clase 3, donde el modelo está confundiéndola en gran porcentaje con la clase 2. La mejor predicción de este modelo es para la clase 2 remoción en masa clase alta con un 72 % de acierto, se evidencia que el porcentaje de precisión que tuvo este algoritmo es proporcional a la cantidad de datos del muestro para cada clase, este algoritmo funcionaria bien para la clase 1 y 2.

Para las redes Backpropagation con las configuraciones descritas en la tabla 2 se obtienen mejores resultados con respecto a los obtenidos en SVM, con las configuraciones especificadas tienen RMSE cercanos al 0.1, sin embargo, las configuraciones con Feed Forward Backpropagation tiene errores importantes para la clase 3 (amenaza de remoción en masa muy alta), en este caso funciona mejor la red Elman Backpropagation ya que permite diferenciar la clase 3 con menor error, esto se evidencia en los valores obtenidos en la validación. Se puede asumir que el perceptron multicapa obtiene muy buenos resultados para clasificar los datos espaciales con los que se trabajaron, obteniendo clasificaciones con errores inferiores a 0.2 para cada clase, como se muestra en la tabla 2.

En la configuración de las capas y neuronas utilizadas no se identifica diferencia en los aciertos obtenidos si se modifica el número de las neuronas por cada capa oculta. Lo más influyente en los modelos es el número de capas ocultas lo que permite un mejor desempeño, pero a un costo mayor en los tiempos de ejecución.

Funciono para este trabajo realizar la selección de los datos de muestreo por porcentaje según la cantidad de área que ocupa cada clase en el municipio de Cáqueza.

5. Conclusiones e Recomendaciones

En la ejecución de este proyecto se utilizaron algoritmos de inteligencia artificial para predecir el riesgo por remoción en masa presente en el municipio de Cáqueza (Cundinamarca, Colombia). Para esto se utilizó un conjunto de 11.262 datos extraídos por muestreo (en grilla cada 100 m en la zona de estudio) con un total de 8 variables (Clase de suelo, tipo de relieve, fallas y geomorfología, vías y caminos, drenajes, coberturas de tierra, precipitación y pendientes en grados). Para el entrenamiento de se usó el 70% de los datos y para la validación de la efectividad de los modelos el 30%. El ejercicio demostró que los mejores resultados para la identificación de las áreas de riesgo para remoción en masa, se obtuvieron con la red Elman Backpropagation que utiliza dos capas ocultas. La aplicación de las redes de inteligencia artificial muestra resultados satisfactorios para la identificación de riesgo por remoción en masa usando las variables definidas por la Metodología del Servicio Geológico Colombiano.

Para próximos estudios se deberían realizar las pruebas segmentando por áreas geográficas para verificar si al colocar el mismo número de datos de entrenamiento para cada clase se obtienen mejores resultados con las redes que se estudiaron.

Referências

- Adition, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.006>.
- Alcántara Ayala, I., García, M., & Giselle, F. (2008). Procesos de remoción en masa en México: Hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones geográficas*, (66), 47-64.
- Beucher, A., Møller, A. B., & Greve, M. H. (2017). Artificial neural networks and decision tree classification for predicting soil drainage classes in Denmark. *Geoderma*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.004>
- Borja Baeza, R. C., & Alcántara Ayala, I. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones geográficas*, (53), 7-26.
- Cartaya, S., Méndez, W., & Pacheco, H. (2006). Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. *Interciencia*, 31(9), 638-646.
- Contreras Urgilés, W., Maldonado Ortega, J., León Japa, R., Contreras Urgilés, W., Maldonado Ortega, J., & León Japa, R. (2019). APPLICATION OF FEED-FORWARD BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK FOR THE DIAGNOSIS OF MECHANICAL FAILURES IN ENGINES PROVOKED IGNITION. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (21), 32-40. <https://doi.org/10.17163/ings.n21.2019.03>
- González, D. S. (2011). Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México. *Cuadernos Geográficos*, 48(0), 135-159. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v48i0.583>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. En F. Pereira, C. J. C. Burges, L. Bottou, & K. Q. Weinberger (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* 25 (pp. 1097–1105).
- Maas, A., Le, Q. V., O’Neil, T. M., Vinyals, O., Nguyen, P., & Ng, A. Y. (2012). Recurrent Neural Networks for Noise Reduction in Robust ASR.
- Máquina de vectores de soporte (SVM). (2012).
- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., & Zanchi, A. (2008). Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology*, 94(3), 379-400. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.035>
- M’ng, J. C. P., & Mehralizadeh, M. (2016). Forecasting East Asian Indices Futures via a Novel Hybrid of Wavelet-PCA Denoising and Artificial Neural Network Models. *PLOS ONE*, 11(6), e0156338. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156338>

- Riyahi, R., Kleinn, C., & Fuchs, H. (2009). Comparison of different image fusion techniques for individual tree crown identification using QuickBird images. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, 38, 1–4.
- Rodríguez, J. E. R. (2012). REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES. 12.
- Song, Q., Soh, Y. C., & Zhao, L. (2009). A robust extended Elman backpropagation algorithm. *2009 International Joint Conference on Neural Networks*, 2971-2978. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2009.5178829>
- Zhang, C., Sargent, I., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Hare, J., & Atkinson, P. M. (2018). An object-based convolutional neural network (OCNN) for urban land use classification. *Remote Sensing of Environment*, 216, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.034>

Hacia la modelación de un sistema social dinámico y complejo para el apoyo en el incremento de la competitividad de la Educación Superior

Consuelo Salgado Soto¹, Felipe Lara-Rosano²

csalgado@uabc.edu.mx, flararosano@gmail.com

¹ Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Baja California UABC, Tijuana, BC, México.

² Centro de Ciencias de la Complejidad. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Pages: 360–374

Resumen: En este trabajo se presenta un análisis que parte desde la perspectiva del paradigma de los sistemas dinámicos y complejos dada las particularidades que permiten identificarlos, el comportamiento emergente de cada uno de los elementos, así como la predicción que puede apoyar en un momento determinado y dar soporte a la toma de decisiones, además, se abordará dicho análisis para llevar a una propuesta de un modelo basado en las características reales y deseables que emule una realidad compleja donde se podrán adquirir nuevas percepciones que definirán una situación concreta y así llegar a identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades, mejoras para reforzar los conocimientos, contenidos, el proceso educativo y otros factores que intervienen de alguna manera en el incremento o decremento en la competitividad de los actores principales.

Palabras-clave: Educación, sistemas dinámicos, complejidad, simulador social.

Towards the modeling of a dynamic and complex social system for support in increasing the competitiveness of Higher Education

Abstract: This paper presents an analysis that starts from the perspective of the paradigm of dynamic and complex systems given the particularities that allow them to be identified, the emerging behavior of each of the elements, as well as the prediction that can support at a given time and give support for decision-making, in addition, this analysis will be addressed to lead to a proposal of a model based on the real and desirable characteristics that emulates a complex reality where new perceptions that will define a specific situation can be acquired and thus identify strengths, weaknesses, opportunities, improvements to reinforce knowledge, content, the educational process and other factors that intervene in some way in the increase or decrease in the competitiveness of the main actors.

Keywords: education, dynamic systems, complexity, social simulator.

1. Introdução

La competitividad debe ser tratada desde su totalidad así como su complejidad para explicar el diseño de estrategias y el impacto para incorporarse exitosamente en los diferentes entornos sociales, industriales, o económicos.

El término competitividad inmediatamente es asociado a los productos, empresas y mercados, pero es importante hacer notar que también la educación superior ha tenido que adaptarse a un mundo competitivo debido a las exigencias de la misma sociedad, de la globalización, de los grandes avances tecnológicos y de las nuevas tendencias de gestión del conocimiento, esta adopción se realiza a través de la mejora continua de los contenidos y la formación de los futuros profesionistas para la promoción de la competitividad con la inclusión de la información, la innovación, la atención a los problemas sociales, y un amplio conocimiento del desarrollo económico.

Es quehacer de las instituciones educativas proponer y promover el mejoramiento en la educación superior, poner un gran interés en contemplar e incluir las estrategias en el desarrollo de capacidades, habilidades, competencias de alto nivel de calidad y valores en el momento del diseño de los planes de estudio, además, proveer las herramientas para mantenerse actualizados así atender las exigencias del entorno laboral local, regional, nacional e internacional altamente competitivo, que le permitan al futuro profesionista poder integrarse.

En este trabajo se pretende dar a conocer la propuesta de un simulador social que modele las posibles interrelaciones entre distintos elementos del sistema dinámico y complejo, así como los subsistemas que lo componen tienen sus límites dentro del medio ambiente en el cual se desarrolla el profesionista se logre atender las demandas de un entorno laboral.

2. Objetivo General

Analizar la complejidad del sistema definido por un entorno laboral e instituciones educativas de nivel superior para proponer y diseñar un simulador social de gestión del conocimiento que permita atender la discrepancia existente entre las competencias de aprendizaje y las necesidades a través de la detección de mejoras así como el fortalecimiento de competencias de programas de estudio para encaminarlas al incremento de la competitividad.

3. Justificación

Este proyecto surge a partir de la detección de necesidades competitivas que requieren los futuros egresados de las instituciones de nivel superior que la misma globalización ha generado en los entornos laborales y económicos, así como una mayor exigencia para permanecer en las mejores posiciones dentro de las organizaciones, además, la influencia del constante desarrollo, avance e innovación de las tecnologías de información y comunicación que son adoptadas e implementadas en las organizaciones y al enfoque que se les da.

Lo anterior está relacionado y da origen a escenarios dinámicos para la formación profesional por parte de las instituciones de educación superior en las cuales se debe considerar realizar los cambios eficientes, necesarios y en tiempo para la adopción de las nuevas tendencias globalizadoras en las organizaciones de los diferentes mercados.

A partir de un análisis se pretende llegar a la propuesta de un diseño del simulador social dinámico y complejo para el apoyo en incremento de la competitividad de la educación superior y dar respuesta a las demandas profesionales de un mercado exigente. Este simulador tiene el objetivo de analizar los elementos que componen al sistema través del comportamiento dinámico y complejo para apoyar a los futuros profesionistas en lograr una mejor incursión en el mercado laboral. Para el desarrollo se considera un software como herramienta para la simulación por computadora, que es especial en el diseño y construcción de este tipo de modelos y situaciones.

Una vez culminado el simulador social, el beneficiado sería en primera instancia el futuro profesionista, ya que se mejorarían las fortalezas, oportunidades, los conocimientos, contenidos, el proceso educativo y otros factores que intervienen de alguna manera en la competitividad necesaria para las exigencias de una sociedad económica y profesionalmente demandante.

4. Marco Referencial

4.1. Complejidad

La complejidad es una realidad compuesta por una red de entidades que influyen en situaciones temporalmente estables, o patrones que causan estabilidad, también puede asociar variaciones que den pequeños cambios en el entorno, caóticos en la existencia de una dinámica no lineal y la aparición de nuevas propiedades debido a cambios bruscos, (Moral, 2017). Hay autores que comentan que la complejidad consiste en analizar y reflexionar sobre determinados aspectos de la naturaleza y la sociedad, del mismo modo, que nace como el resultado de las constantes interrelaciones que surgen entre múltiples elementos de un sistema, y de estos elementos con los subsistemas pero que a la vez tienen sus límites dentro del medio ambiente en el cual se desarrollan (Bustamante y Opazo, 2004).

La realidad compleja que plantean (Lara-Rosano, Gallardo Cano, y Almanza Márquez, 2017) es la que se presenta entre los procesos sociales, económicos y ambientales donde está presente el intercambio de información e ideas que han determinado el ambiente y orilla a los elementos de esa realidad a desenvolverse en un entorno de competitividad; también propone ciertas características como el tiempo que perdura un proceso, el problema o situación debe analizarse desde que surgió, la presencia de un entorno de agentes diversos, la interacción y organización existente, surgimiento de propiedades emergentes, así como la presencia de la no linealidad, dinamismo y transformación en el ambiente.

4.2. Simulación de sistemas.

La simulación es un tipo especial de modelado que permite experimentar artificialmente con el fin de explorar diferentes comportamientos y soluciones alternativas como lo

expresa Emmeche (1998). El modelado de un sistema depende en gran medida de las necesidades específicas que deben abordarse en el entorno de la realidad compleja y de las características que les permiten modificar el comportamiento (Ramírez, et al, 2019). El modelado y la simulación desde el punto de vista de las ciencias de la complejidad se centran en abordar el surgimiento de propiedades de la interacción entre un gran número de elementos (Susatama, Ruíz, y Arévalo, 2017) para poder representar algo que implica pensar en términos de temporalidad y comportamientos variables de un sistema (Rodríguez y Roggero, 2014)

La simulación computacional se considera una herramienta esencial para comprobar modelos existentes en los rangos y situaciones imposibles de alcanzar y a través de la variación de los valores en los parámetros permite la experimentación y la visualización de los resultados obtenidos (Gutiérrez, 2001) para ser analizados y plantear hipótesis que conduzcan a la validación de los modelos propuestos, también cuando se construye un sistema, es posible predecir cómo se procederá estudiando el comportamiento en diversas condiciones a través de la simulación (Saha, 2011).

4.3.Sistema dinámicos

Los sistemas están integrados por un conjunto de elementos que de cierta manera se encuentran relacionados, tienen una función específica y un comportamiento que afecta al sistema, además, el objetivo principal de los sistemas es generar y proporcionar información efectiva que con ella se pueda dar soporte a la toma de decisiones.

Hay sistemas que no pueden ser estudiados o explicados desde el paradigma tradicional de sistema dado la compleja relación que pudiera existir entre sus componentes, por el número de comportamientos impredecibles, la falta o el exceso de características específicas entre ellos y las condiciones del ambiente que lo definen. Todas esas propiedades en conjunto dan paso a la comprensión de la complejidad como una forma de estudiar aspectos de la naturaleza y la sociedad que se centra en las características que los representan (González, 2009) y lo definen como sistemas complejos, que para obtener una definición exacta es necesario observar la iteración del sistema con los subsistemas, procesos y los demás elementos en el tiempo y espacio en el que se da el evento, situación o ambiente. Otro tipo de sistema es el dinámico, que una de las características principales es su comportamiento cambiante con el tiempo, a la vez se le tiene que aplicar estímulos para ver su respuesta para estimar las posibilidades de diversos escenarios considerando los cambios en el entorno.

4.4.Competitividad

La conceptualización de competitividad debe ser rescatada en toda su complejidad porque así se demuestra la importancia cuando se busca diseñar e implementar estrategias inclusivas de desarrollo y de impacto positivo sobre los procesos sociales y económicos de los países (Suñol, 2006).

Desde el enfoque organizacional-empresarial, la competitividad se entiende como la capacidad de una empresa para ofrecer un producto o un servicio de mejor manera entre los competidores, fundamental en el mundo globalizado donde el cliente puede elegir lo que desea entre varias opciones (Gutiérrez, 2014), que generalmente se basa

en una ventaja competitiva, creada a partir de una diferenciación, ya sea por recursos, tecnologías, habilidades o características que dan un valor respecto a algo.

Es importante comprenderla desde el punto de vista de una marca, como lo menciona (Homs, 2011), además como el resultado de una mezcla de fortalezas y debilidades que tienen valor en función de cómo se relacionan con las que presentan las marcas competidoras donde el consumidor decidirá elegir la mejor guiándose en una valoración subjetiva con base a sus preferencias y de lo que percibe de ellas. Por otra parte, (Porter, 1999) identifica ciertas características que determinan a las ventajas competitivas tales como: los factores, la demanda, estrategias, estructuras y la rivalidad de las organizaciones.

La competitividad puede ser observada desde la perspectiva del paradigma de los sistemas dinámicos y complejos, para comprenderla desde el comportamiento de cada uno de sus componentes de manera independiente, por ejemplo, el mercado laboral al desarrollo económico y que estos se encuentren vinculados a una realidad compleja y espacio-temporal simulada que permitiría crear información antes no visible.

4.5. Educación Superior

Una realidad de las instituciones de Educación Superior es que tienen que dar respuesta a la presión, exigencias y necesidades sociales, industriales y gubernamentales, para innovar, promocionar la difusión de conocimiento, revolucionar el desarrollo e incrementar el progreso y competitividad en las economías.

El interés ha aumentado en relación al conocimiento, información y la innovación con los temas o problemas sociales, económicos y su crecimiento, tanto a nivel empresarial como nacional e internacional. De acuerdo a (Montuschi, 2002) son esenciales y cruciales para el desarrollo de las economías que incluye a la ciencia, la tecnología, infraestructura física especializada como promotores de la competitividad, si se desea escalar en una posición es trascendental construir un proyecto conjunto sociedad-academia-industria-gobierno (Martínez Martínez, et al, 2011) que define las políticas y las estrategias para generar dicho crecimiento, por lo tanto, para avanzar como sociedad, un sistema económico desarrollado y mayores exigencias en educación son indispensables para la viabilidad y competitividad de un país.

En el tema de educación, se deben atender las demandas de la sociedad y del mercado laboral, mediante una formación exigente y actualizada para el desarrollo de las destrezas en las nuevas generaciones, certificada a través de las instituciones de educación superior, que incluyan conocimiento especializado y la preparación en el área académica como parte del proceso educativo.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2018). señala que la educación superior debe cumplir con el desarrollo de las competencias para el trabajo, además de promover la innovación y el crecimiento económico, adaptar en tiempo real la aceleración de los cambios tecnológicos, económicos, sociales y la globalización, incluir el conocimiento en diversas áreas y la promoción de las tecnologías de información y comunicación, asimismo, lograr participación del sector productivo en el diseño de los planes de estudio, ofrecer una educación superior armónica con el

sector laboral-productivo, económico y gubernamental, y por último, innovación en la enseñanza y promoción de competencias de los programas de estudio.

4.6. Stella Architect

Stella Architect es un software especializado para la ciencia e investigación que permite crear y simular modelos, analizar el flujo de las acciones y explorar los resultados de sistemas dinámicos y complejos (Richmond, 2001); se enfoca en la metodología de este tipo de sistemas para la modelación, investigación, estudio de las relaciones de los componentes y del comportamiento en su totalidad.

Para modelar un sistema dinámico complejo en Stella se deben considerar los siguientes iconos base:

- Stock o contenedor: Es un símbolo que permite acumular cualquier cosa, representa las condiciones en un sistema dinámico complejo, ver figura 1.

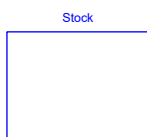


Figura 1 – Representación de Stock.

Flujo: representa las actividades que causan que la condición cambie, los flujos son los valores que aumenta o que disminuye, y el convertidor representa manipulación de la entrada y salida de datos, el aumentar o disminuir, como se aprecia en la figura 2.

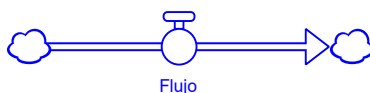


Figura 2 – Representación de Flujo y Convertidor.

Conector: es una flecha que comunica entre los convertidores, los stocks y los flujos, los convertidores son representados por los círculos en el inicio de la línea de la flecha se encargan de alimentar a los flujos, como se muestra en la figura 3.

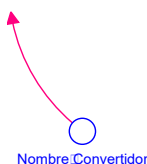


Figura 3 – Representación convertidor.

5. Estudios relacionados.

El estudio de los sistemas complejos es un tema de interés de diversas áreas sociales en donde los fenómenos son observados a partir de entorno que lo genera y los efectos que se presentan en la relación que se da entre ellos, el caso de la educación no queda fuera de este tipo de estudios. En un trabajo realizado por Salvador Benítez y González López, (2017), en el cual se enfocan a la educación, observan que los planteamientos curriculares siguen manteniendo esquemas tradicionales y un conocimiento prerrequisito, administrativo y acumulativo, donde ambos están alejados de la complejidad del mundo, por lo que sugieren que la educación debe ser flexible y dinámica, en donde la transformación de ritmos, medios y contextos de aprendizaje permitan apertura, circulación, ciclos de conocimiento, es decir, una interacción permanente eliminando el discurso lineal es decir, que la educación sea considerada desde la perspectiva de la complejidad. Otro acercamiento al estudio del sistema educativo desde el punto de vista de la teoría de la complejidad es el realizado por (Lemke y Sabelli, 2008), en el que revisan los temas clave de la teoría de la complejidad donde resaltan que es posible que las herramientas de análisis de sistemas complejos logren ayudar a la comprensión del impacto en el sistema educativo y las nuevas tecnologías para apoyar en la predicción de nuevos caminos o escenarios, así como ayudar a identificar las relaciones que se dan con otros sectores para ofrecer nuevas alternativas; también comentan que la visión de los sistemas complejos implica enfoques experimentales, computacionales y teóricos para la modelación y simulación dinámica como lo es el desafiante y complejo sistema educativo.

6. Metodología

Para el diseño del simulador social se consideran las tareas, procedimientos y técnicas que se requieren para lograr el objetivo. Este proyecto se divide en varias etapas:

- Etapa 1. Inicio del proyecto: Esta etapa es el comienzo del proyecto donde los involucrados seguirán las estrategias del proyecto junto con los involucrados, analizarán la metodología propuesta y la situación actual.
- Etapa 2. Marco conceptual: Esta etapa es muy importante dado que se definirá el alcance del proyecto, lo que conducirá a la integración del marco conceptual de la propuesta.
- Etapa 3. Diseño de la propuesta: con la información obtenida y analizada, comenzará con la actividad de identificar las características que se requieren para el simulador y con ellas modelarlo.
- Etapa 4. Desarrollo de la propuesta: en esta etapa, el simulador se construirá utilizando el software especializado para ello; las pruebas también se llevarán a cabo para detectar los cambios necesarios y ajustar los detalles para implementarlo e iniciar acciones con los resultados.

7. Hacia el simulador social

7.1. Planteamiento de la problemática

En la definición del problema es necesario percibir la existencia de un conflicto a partir de lo que se desea y lo que se tiene. En la medida en que el conflicto sea percibido, se

verá motivado a actuar en el sentido de resolverlo, modificando la realidad en forma pertinente (Lara-Rosano, Gallardo Cano, y Almanza Márquez, 2017). mediante la disposición de algo para conseguir un efecto determinado.

Para llegar a la propuesta, se observó que lo deseado es que los programas educativos de las instituciones de nivel superior, en específico el programa Licenciatura en Informática, deben lograr la inserción laboral de sus estudiantes, a partir del incremento de la competitividad que incluye la formación continua para contribuir a la sociedad con la atención y solución de problemas de manera eficiente y efectiva, pero, el entorno de la formación profesional actual se ha convertido estático, además que no existe relación entre el conocimiento y capacidades adquiridas relacionadas con las exigencias y necesidades del entorno laboral, ver figura 4.

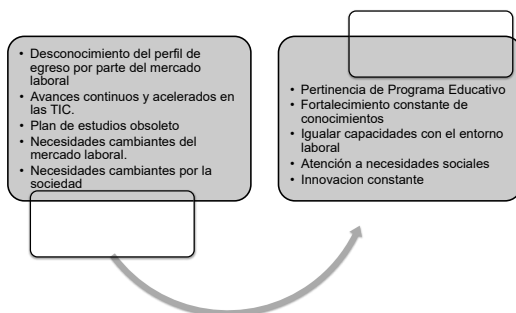


Figura 4 – Discrepancia entre lo real y lo deseado

Esta discrepancia lleva al planteamiento del problema social en donde se identifica las condiciones actuales de los alumnos que en un corto plazo intentarán ingresar a un sector productivo de la sociedad con altos niveles de exigencia, un gran interés en innovar y estar a la vanguardia en TIC, y que la realidad es la diferencia en la atención a cada uno de ellos presentando un rezago atendido en ciertos periodos por las instituciones educativas.

La situación puede resolverse de manera temporal al atender necesidades de formación profesional y de las exigencias de la sociedad, pero en cierto momento se presentarían las mismas características debido al tipo de acciones estáticas.

7.2. Planteamiento sistémico

Para construir vínculos de colaboración entre los entes de un sistema, primero se debe definir como estará compuesto por los diferentes elementos y analizar su función dentro del medio ambiente; se definen como un sistema adaptativo complejo que es afectado por su entorno y este a la vez es afectado por el sistema; está compuesto por los elementos alumnos, profesores, asignaturas, conocimientos, valores, capacidades, estilo de vida, creencias, costumbres ciencia, normas de conducta, modelos de negocio, mercado laboral, organizaciones, productos, calidad de vida, crecimiento económico, crecimiento

social y crecimiento político; también se ha contemplado a cuatro subsistemas: desarrollo económico, sociedad, innovación e instituciones educativas que, al igual que el sistema principal, son definidos como sistemas adaptativos complejos, ver figura 5.

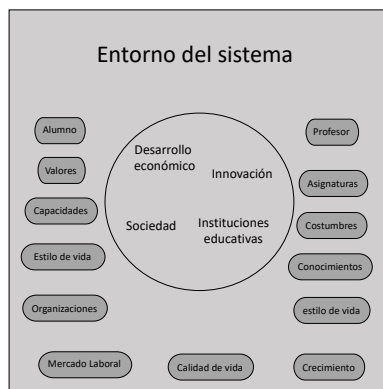


Figura 5 – Entorno del sistema

Desde el enfoque sistémico se trata de resolver la problemática donde se identifican las condiciones actuales de los alumnos que intentaran ingresar a un sector productivo de la sociedad con altos niveles de exigencia, presentando desigualdad en el sentido de la formación debido a que los planes de estudios no van de acuerdo a la realidad definida por el mercado laboral, la innovación y los nuevos planteamientos que definen el crecimiento económico, por lo tanto la situación no puede ser atendida de manera tradicional, dado que el sistema en cuestión no es un ente aislado el cual no puede dividirse o separarse de las características que tiene el problema.

7.3. Situación actual

Un sistema complejo puede ser representado a través de la simulación computacional que se alimentaría a través de estímulos artificiales para explorar o predecir diferentes comportamientos y soluciones alternativas de una realidad planteada, (Emmeche, 1998); enfocándose en un modelo donde se establecen las características reales y deseables que se plantea para atender un problema concreto y específico (Lara-Rosano, et al, 2017).

La situación a abordar es la realidad dinámica y compleja en donde se representa el incremento y la medición de la competitividad a través de la relación dada por las características y necesidades irrepetibles que definen los subsistemas de sociedad, innovación, desarrollo económico, e instituciones educativas.

¿Por qué pensar en la simulación de un sistema de este tipo? La respuesta a esta interrogante es que debido a la dinámica y complejidad que poseen se podría obtener más información y a su vez permitiría simular computacionalmente situaciones deseables donde los resultados apoyarán al planteamiento de estrategias y la toma de decisiones.

El sistema será considerado de manera diferente a un sistema tradicional debido a la complejidad de la relación existente entre todos sus contenedores y variables, al dinamismo, la no predictibilidad de los diferentes comportamientos, las condiciones, el tiempo y el espacio en que se generan y definen.

En la figura 6, se representa en la propuesta al flujo del sistema dinámico y complejo. Este diagrama está integrado por los stock que simbolizan a la sociedad, innovación, desarrollo económico, e instituciones educativas. Como se puede observar cada stock contiene las variables que serán alimentadas con valores, y en los flujos entrada y de salida se realizará el cálculo para obtener el promedio que se convertirá en el valor que acumulará el stock correspondiente.

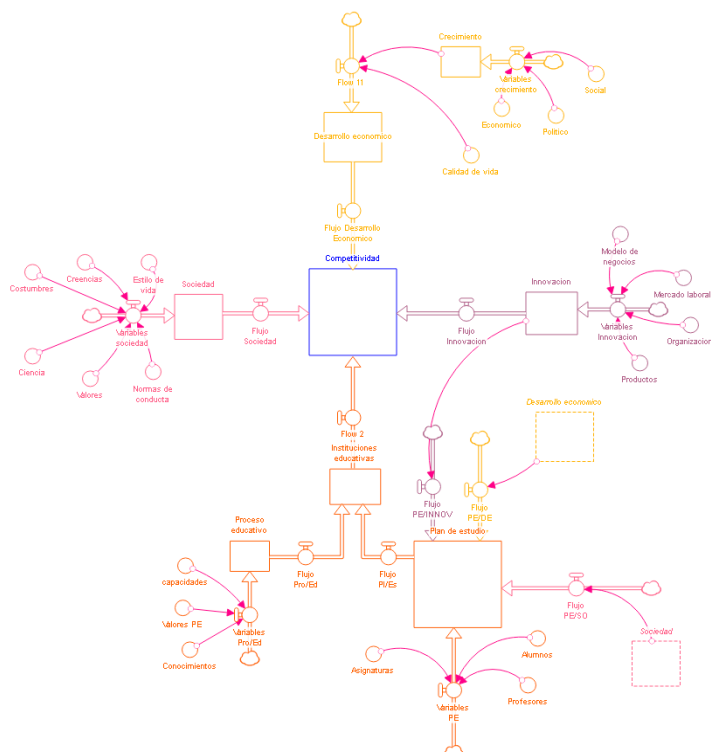


Figura 6 – Sistema complejo y dinámico.

Con el enfoque sistémico se inicia la exploración y comprensión de las relaciones entre los diferentes elementos del sistema, donde en cada stock se ejecuta una función como el resultado del estado de una condición.

De manera particular se analizan cada uno de los componentes del sistema para medir el nivel de competitividad y el funcionamiento del sistema complejo:

Subsistema Instituciones Educativas

La competitividad se alimenta de los valores a través del flujo de Instituciones Educativas, a su vez que son resultado del comportamiento de dos variables de estado: Proceso Educativo y del Plan de Estudios.

Proceso Educativo: representa al conocimiento, las capacidades y los valores del programa educativo que son provistos, y el comportamiento en suma suministrarán el valor a través del flujo correspondiente hacia Instituciones Educativas.

Plan de Estudios: corresponde al resultado de una expresión matemática que se encargará de medir el comportamiento de las asignaturas, profesores, alumnos, sociedad, desarrollo económico e innovación.

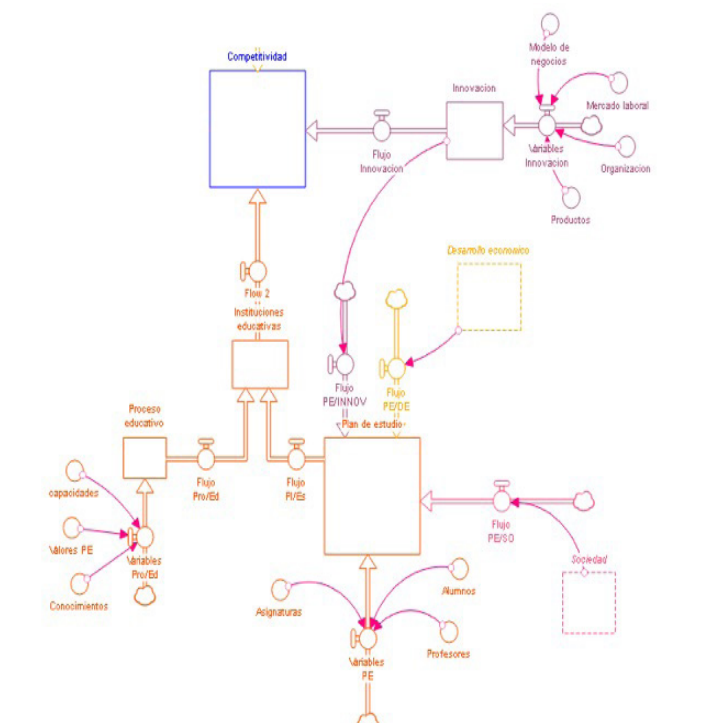


Figura 7 – Instituciones educativas.

Este subsistema podría simular diferentes comportamientos y soluciones alternativas de la realidad para buscar soluciones emergentes e innovar en el componente de las Instituciones Educativas y en la Competitividad, a través del proceso de enseñanza y de los planes de estudio para igualar conocimientos, habilidades y competencias para integrar a sus graduados competitivos en diferentes entornos como las organizaciones, o la industria.

Subsistema innovación

En la figura 8 se representa a la Innovación que a través del flujo de innovación afecta a la competitividad y del flujo PE/INNOV afecta a los Planes de Estudio como resultado del comportamientos que se presentan en los convertidores de: modelos de negocios, mercado laboral, organización y productos.

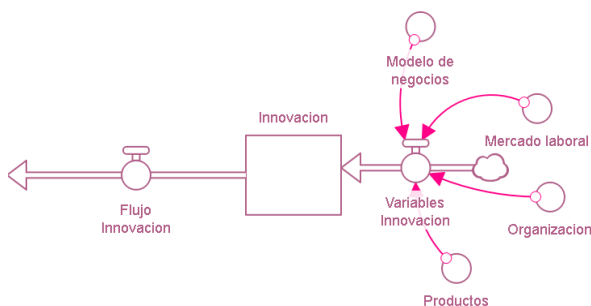


Figura 8 – Innovación.

Este subsistema podría simular diferentes comportamientos y soluciones alternativas de la realidad para buscar soluciones emergentes o alterar el entorno en especial al componente de las planes de estudio y en la Competitividad.

Subsistema de Sociedad

La sociedad y educación están estrechamente relacionadas debido a que la primera contribuye con las situaciones que se deben atender y la educación colabora con la atención a esas situación y al crecimiento de la sociedad.

En la figura 9, a través del contenedor sociedad, las exigencias son representadas en este diagramas por medio de los valores de entrada asignados al estilo de vida, las creencias, costumbres, ciencia, valores y normas de conducta que definirán la pauta de acción en los planes de estudios para lograr el incremento o decremento de la competitividad.

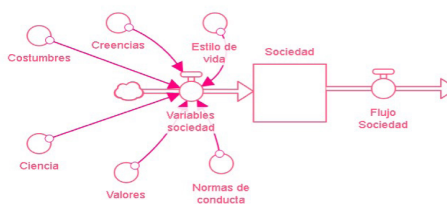


Figura 9 – Sociedad

Subsistema de desarrollo económico

El desarrollo económico de las regiones, países, y desde una perspectiva global, define las acciones que deben tomar la sociedad y las organizaciones, dado que sin él no se generaría la innovación, el avance social, el crecimiento y cambios en el mercado laboral, así mismo, las actualizaciones en todos los niveles dentro de las instituciones educativas a través del diseño de los planes de estudio.

En la figura 10, se representa al subsistema o contenedor de desarrollo económico, este será definido por el convertidor de calidad de vida y por el comportamiento de crecimiento que es resultado de la expresión matemática de los valores asignados artificialmente a los convertidores social, político, y económico.

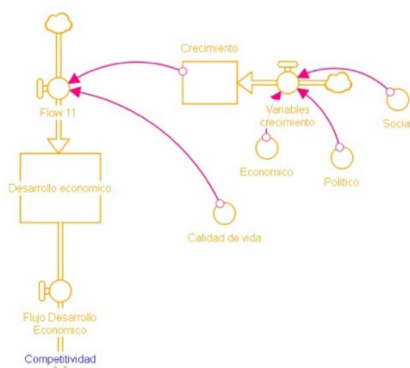


Figura 10 – Desarrollo económico

El desarrollo económico va más allá de la capacidad de producir y obtener riqueza, basándose en este pensamiento se debe visualizar como un detonador para incrementar la innovación y así dar solución a problemáticas, atender situaciones que surgen debido al comportamiento dinámico de la sociedad, también este desarrollo impacta en la educación debido a que las instituciones educativas buscan el bienestar y que se satisfagan las necesidades de la sociedad a través del ejercicio profesional de sus egresados.

8. Conclusiones

A través de la simulación computacional y el análisis por medio de los sistemas complejos se puede estudiar la realidad para establecer patrones o prevenir comportamientos en un entorno definido artificialmente que al ser alimentado generará información y un conocimiento nuevo para atender escenarios no previstos o detectar situaciones constantes que pueden provocar no lograr objetivos

La propuesta a la que se quiere llegar es un simulador social en el cual modela una realidad dinámica y compleja para el apoyo del incremento de la competitividad en la

educación en el cual se puede mostrar cómo se adaptan a su entorno cambiante a través del análisis de las variables que permiten lograr dicha actividad.

Hasta este momento se ha concebido un análisis de la situación actual a través de un modelo dinámico que muestra cierto comportamiento como resultado de las variables cambiantes con el tiempo, los parámetros cuyos valores permitirán analizar el comportamiento de los componentes en el entorno para detectar los nuevos requerimientos, formas, estructuras de la complejidad y dinamismo de los sistemas.

Este análisis lleva a la identificación de mejoras y el fortalecimiento del proceso educativo y los planes de estudio para que impacten a las instituciones educativas de nivel superior para adaptar las capacidades del estudiante a las necesidades del entorno laboral para elevar la competitividad. También se tiene que analizar la importancia de los diferentes módulos y considerar la inclusión de otros, así como asignar los cálculos a los flujos de entrada y salida de datos y los contenedores y empezar a analizar el comportamiento de la propuesta respetando la función de ellos dentro del sistema.

Referencias

- Bustamante, M., Opazo, P. (2004). "Hacia un concepto de complejidad: sistema, organización y empresa. Recuperado de: http://www.panorama.utalca.cl/dentro/sdd/hacia_un_concepto.pdf, último acceso 2019/08/23.
- Emmeche, C. (1998). Vida simulada en el ordenador, Barcelona. Gedisa Editorial.
- Gutiérrez, G., (2001). Elementos de simulación computacional. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/233856573_ELEMENTOS_DE_SIMULACION_COMPUTACIONAL, último acceso: 2019/08/19.
- González, J. (2009). La teoría de la complejidad. Dyna, 76 (157), 243-245. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/496/49611942024.pdf> último acceso 2019/08/18.
- Gutiérrez, P. H. (2014). Calidad y productividad (4a. ed.). Mc Graw Hill.
- Homs, R. (2011). La esencia de la estrategia de marketing : La estrategia a partir del consumidor. CENGAGE Learning. México, D.F.
- Lara-Rosano, F., Gallardo Cano, A., y Almanza Márquez, S. (2017). Teorías, métodos y modelos para la complejidad social: un enfoque de sistemas complejos adaptativos (1st ed.). Ciudad de México: Colofón Ediciones Académicas.
- Lemke, J., & Sabelli, N. (2008). Complex Systems and Educational Change: Towards a new research agenda. Educational Philosophy And Theory, 40(1), 118-129. doi: 10.1111/j.1469-5812.2007.00401.x
- Martínez Martínez, A., Villavicencio Carbajal, D., López-de-Alba, P. (2011). Estrategias para la competitividad. Empresas, sectores y regiones. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313662098_Estrategias_para_la_competitividad_Empresas_sectores_y_regiones, último acceso 2019/08/25.

- Montuschi, L. (2002). La economía basada en el conocimiento: Importancia del conocimiento tácito y del conocimiento codificado. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/4806426_La_economia_basada_en_el_conocimiento_Importancia_del_conocimiento_tacito_y_del_conocimiento_codificado#pf1, último acceso 2019/08/30.
- Moral, M. (2017). Conceptos básicos del paradigma de la complejidad aplicados a la cuestión del método en Psicología Social. *Summa Psicológica*. 14. 12-22. 10.18774/448x.2017.14.240,
- OECD. (2018). Los países deben hacer que la profesión docente sea más atractiva desde el punto de vista financiero e intelectual. Recuperado de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/lospaisesdebenhacerquelaprofesiondocenteseamasatractivadesdeelpuntodevistafinancieroeyintelectual.htm>, último acceso 2019/08/25.
- Porter, M. (1999). La ventaja competitiva de las naciones. Argentina: Javier Vergara.
- Ramírez M.R., Moreno H.B.R., Rojas E.M., Hurtado C., Núñez S.O.V. (2019). Multi-Agent System Model for Diagnosis of Personality Types. In: Jezic G., Chen-Burger YH., Howlett R., Jain L., Vlacic L., Šperka R. (eds) *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2018*. KES-AMSTA-18 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 96. Springer, Cham.
- Richmond, B. (2001). Introduction to Systems Thinking, STELLA. High Performance Systems, INC. The system thinking company.
- Rodríguez, L., Roggero, P. (2014) "La modelización y simulación computacional como metodología de investigación social". Polis [On line], 39 . Publicado el 23 enero 2015. [Online] Recuperado de: <http://journals.openedition.org/polis/10568>, último acceso: 2019/08/19.
- Saha, S. (2011). Introducción a la Robótica. España: McGraw-Hill España.
- Salvador Benítez, J. L., & González López, S. (2017). La complejidad y la transdisciplina como sistemas teóricos en el hacer de la educación superior. *Educación Y Humanismo*, 19(33), 305-319. <https://doi.org/10.17081/eduhum.19.33.2646>
- Suñol, S. (2006). Aspectos teóricos de la competitividad. *Ciencia y Sociedad*, XXXI (2), 179-198
- Susatama, K., Ruíz, K., & Arévalo, L. (2017). Modelación y simulación basada en agentes como alternativa para el estudio de las organizaciones empresariales. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323652311_Modelacion_y_simulacion_basada_en_agentes_como_alternativa_para_el_estudio_de_las_organizaciones_empresariales. Último acceso: 2019/08/19

Desarrollo tecnológico del IoT en el sector de la agricultura: una visión desde el análisis de patentes

Saúl F. Mejía S.¹, Leidy Y. Flórez G.², Cesar D. Guerrero S.³

smejia828@unab.edu.co, lflorez673@unab.edu.co, cguerrerr@unab.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

² Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

³ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

Pages: 375–385

Resumen: El presente artículo permite evidenciar el panorama general sobre el desarrollo tecnológico, a nivel mundial, en el área del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), con aplicación específica en el área de la agricultura. Por medio de un análisis de las familias patentes de la base de datos Espacenet y con el soporte del software Matheo Patent®, se identificó la dinámica de patentamiento a nivel mundial y los principales códigos de la clasificación internacional de patentes (IPC, por sus siglas en inglés), inventores, aplicantes y países en los que se han protegido las diferentes invenciones.

Palabras-clave: Agricultura; Internet de las Cosas; Análisis de Patentes; Desarrollo tecnológico

Technological development of IoT in the agriculture sector: a view from patent analysis

Abstract: This article allows us to show the general panorama on technological development, worldwide, in the area of Internet of Things (IoT), with specific application in the area of agriculture. Through an analysis of the patent families of the Espacenet database and with the support of Matheo Patent® software, the worldwide patent dynamics and the main codes of the international patent classification (IPC) were identified in English, inventors, applicants and countries in which the different inventions have been protected.

Keywords: Farming; Internet of Things; Patent Analysis; Technological development

1. Introducción

El desarrollo tecnológico se ha potencializado en los últimos años y ha generado gran impacto en la sociedad, lo cual trae consigo la necesidad de gestionar el conocimiento en diversas bases de datos, ya sea las relacionadas con la generación de nuevo conocimiento, como los artículos científicos, o las correspondientes al desarrollo tecnológico, como las patentes (Archibugi & Iammarino, 2002; Bernal Calderón, 2006). Lo anterior, se considera un reto clave para que a través de los sistemas de gestión de conocimiento se logre la utilización de los contenidos de las bases de datos y se propicie la generación de nuevo conocimiento en los sectores de interés durante los próximos años, como lo es la agricultura (Han et al., 2017; Jimenez & Armando, 2013; Luca, Sforza, Sonnino, & Ruane, 2016; OMPI, 2013).

Relacionado a este sector, Springmann et al. (2018) menciona como los efectos ambientales del sistema alimentario que se está manejando en el mundo podrían aumentar entre un 50% y un 90%, si no se hacen efectivos cambios tecnológicos y medidas de mitigación específicas, para definir un espacio operativo seguro para la humanidad (Odegard & van der Voet, 2014; ONU, CEPAL, & FAO, 2013); por lo que se hace necesario evaluar el desarrollo tecnológico en el área de la agricultura (Smithers & Blay-Palmer, 2001; Springmann et al., 2018). Lo anterior cobra más fuerza si se considera que los volúmenes de patentes son cada vez mayores, lo que ha su vez ha ocasionado que las tareas específicas de búsqueda y análisis de patentes sean fundamentales para temas relacionados con el desarrollo tecnológico, la gestión del conocimiento, toma de decisiones comerciales y acciones legales y de gestión (Aristodemou, Tietze, Athanassopoulou, & Minshall, 2017; OMPI, 2013).

El presente artículo muestra el panorama general del desarrollo tecnológico en el área del IoT con aplicación específica en el área de la agricultura, a través de un análisis de patentes de Espacenet con el soporte del software Matheo Patent®, cuyos resultados fueron analizados para identificar las tendencias de desarrollo tecnológico que se presentan a nivel mundial. Es importante mencionar, que el presente artículo de investigación tiene como propósito de contribuir al desarrollo del proyecto “Desarrollo de un modelo de transferencia y apropiación de tecnologías del internet de las cosas para los agricultores colombianos de pequeña escala (AGRIoT)”, que en sus primeras etapas tuvo como propósito definir el estado del arte del desarrollo tecnológico del IoT en el sector de los pequeños agricultores colombianos.

2. Desarrollo metodológico

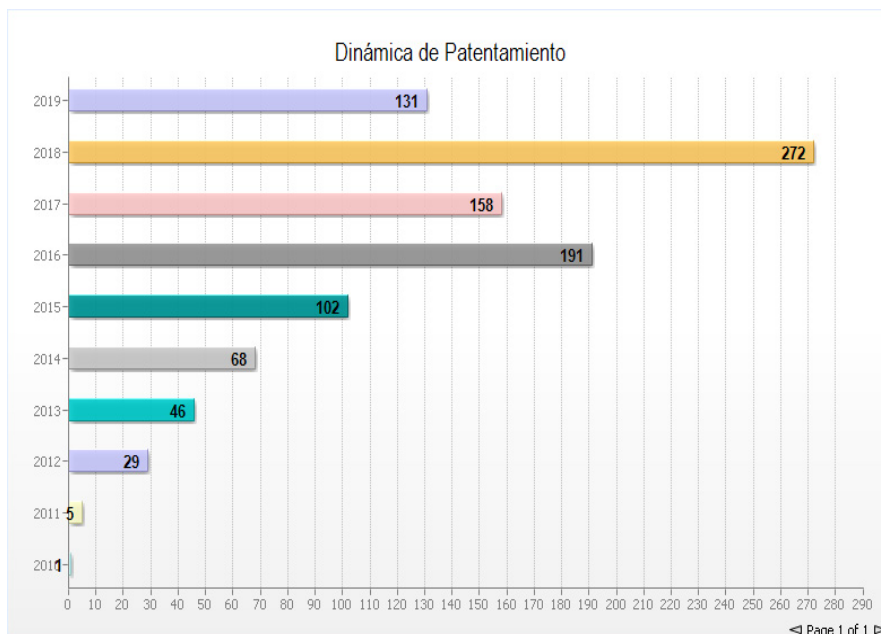
La metodología empleada para el desarrollo del artículo de investigación se fundamenta en el análisis de patentes a partir del cuerpo de conocimientos de la cienciometría (Arencibia Jorge & Moya Aneón, 2008), utilizando como fuente de información las familias de patentes publicadas en la base de datos Espacenet sobre el IoT en el sector de los pequeños agricultores. Esta es una base de datos con cobertura a nivel mundial, que ofrece acceso gratuito a información sobre inventos y desarrollos tecnológicos desde 1782 hasta la fecha (Czajkowski, 2018). Además, se utilizaron las familias de patentes, como fuente de información, puesto que dicho análisis permite identificar las innovaciones en el desarrollo tecnológico, logrando así evaluar el panorama e identificar las tendencias

en esta área de aplicación, así como las tecnologías emergentes (Breitzman & Thomas, 2015; Czajkowski, 2018; Han et al., 2017; OMPI, 2013). En este artículo, el periodo de análisis para las patentes se estableció desde 2010 hasta septiembre de 2019.

El análisis de patentes se realizó a través de una ecuación de búsqueda con el soporte del software Matheo Patent ®, el cual se encuentra diseñado para automatizar y facilitar las tareas de búsqueda en diferentes bases de datos de patentes a nivel mundial, entre las que se encuentra Espacenet (Campis & Gámez, 2012; Gómez, Navas, Mayor, & Betancourt, 2014). La búsqueda general se hizo utilizando como palabras clave: Internet of Things, IoT, Agri*, farming y smallholder, a partir de las cuales se construyó la ecuación de búsqueda (“Internet of Things” OR “IoT”) AND (agri* OR farming OR smallholder)). El resultado a través de esta ecuación de búsqueda utilizada, arrojó un total de 1020 publicaciones registradas de familias de patentes en la base de datos Espacenet. Posterior a la búsqueda, se realizó el procesamiento de la información obtenida de las familias de patentes, obteniendo resultados sobre la dinámica de patentamiento, la clasificación internacional de patentes, los inventores, los aplicantes, los países de los inventores y de los aplicantes, y la protección en propiedad intelectual, mediante grafos que permitieron realizar un análisis concreto de los datos arrojados acerca de las familias de patentes.

3. Resultados

3.1. Dinámica de patentamiento



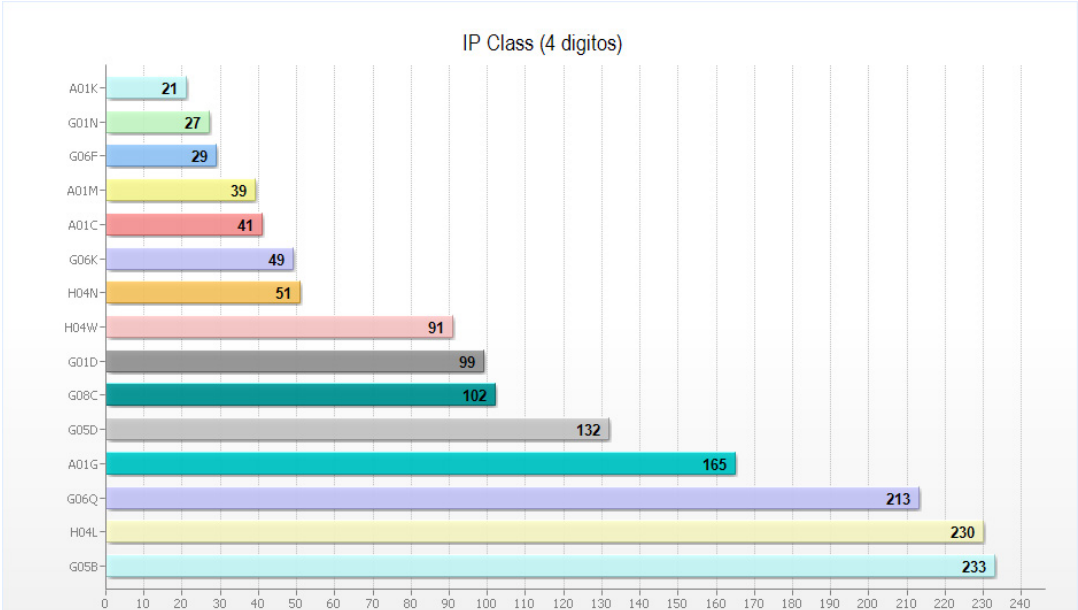
Gráfica 1 – Dinámica de Patentamiento Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

La dinámica de patentamiento se refiere a la cantidad de familias de patentes publicadas en el periodo de análisis, es decir, desde el 2010 hasta septiembre de 2019. El análisis de patentes permite efectuar conteos de este tipo de documentos y analizar, a partir de las características, la evaluación en el desarrollo tecnológico (Wittfoth, 2019). En la gráfica 1 se muestra esta dinámica de patentamiento.

En este gráfico se puede observar la evaluación anual de las familias de patentes publicadas relacionadas con el IoT y aplicadas en el sector de la agricultura. Las familias de patentes relacionadas a este sector, inician en el año 2010 con una publicación y se observa un comportamiento creciente en la cantidad de publicaciones hasta el 2016, cuando se observan 191 publicaciones de familias de patentes. Posteriormente, en 2017 se produce una leve disminución en la publicación de patentes, para dar un salto importante en el año 2018 con 272 familias de patentes. En el 2019, se presentan 131 familias de patentes publicadas.

Esta dinámica muestra la importancia que toma el desarrollo de tecnologías basadas en IoT para la agricultura. Las posibilidades que brinda el sector del Internet de las Cosas y la creciente demanda alimenticia, llevan a que los financiadores de la investigación y del desarrollo tecnológico en estos temas, promuevan la generación de tecnologías y su correspondiente patentamiento hacia inmediatas o futuras posibilidades de comercialización y el correspondiente desarrollo de la actividad agrícola a nivel mundial.

3.2. Clasificación Internacional de Patentes

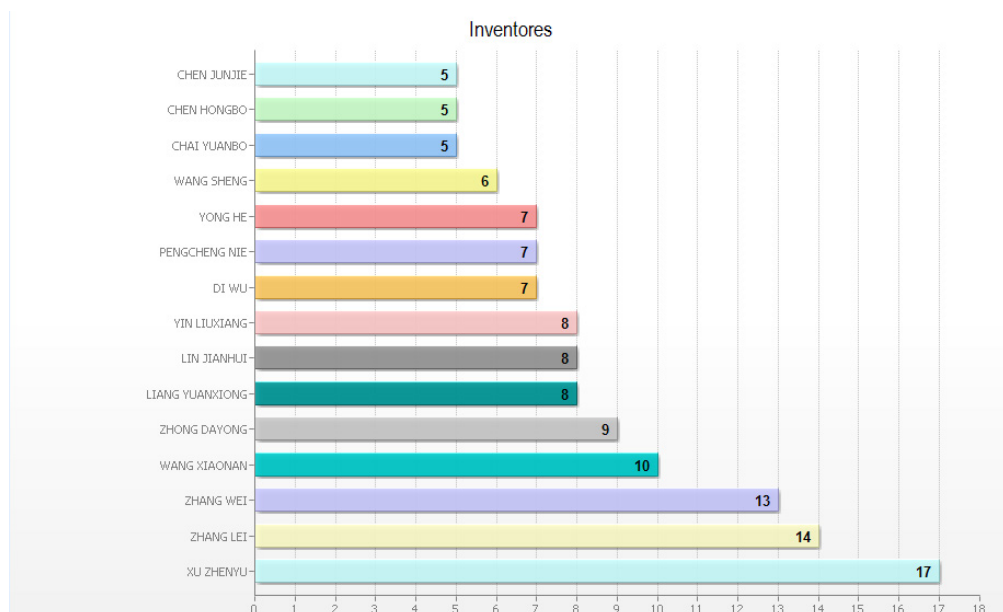


Gráfica 2 – Clasificación Internacional de Patentes – (IP Class- 4 dígitos) Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

La Clasificación Internacional de Patentes, establecida por el Arreglo de Estrasburgo, establece un sistema jerárquico de símbolos independientes del idioma para la organización de las patentes y los modelos de utilidad en función de los ámbitos tecnológicos a los que son relacionados (OMPI, 2013). De esta manera, en la gráfica 2 se muestran las principales áreas de desarrollo tecnológico en las cuales se relacionan las familias de patentes publicadas.

En la gráfica 2, se observan las familias de patentes publicadas en los sectores más representativos en el cual se desarrollan las diferentes áreas de tecnología a cuáles que pertenecen. El código G05B correspondiente a control y/o regulación, cuenta con 233 familias de patentes publicadas, relacionadas con sistemas de control o regulación en general, elementos funcionales de dichos sistemas, disposiciones de seguimiento o ensayo de dichos sistemas o elementos. El código H04L correspondiente a técnicas de comunicación eléctrica, cuenta con 230 familias de patentes publicadas, relacionadas con transmisión de información digital, por ejemplo, comunicación telegráfica. El código G06Q correspondiente a el área de informática, cálculo y conteo cuenta con 213 publicaciones, en el área de los sistemas o métodos de tratamiento de datos, especialmente adaptados para fines administrativos. Es posible observar que en el área de la Agricultura se han realizado 21 publicaciones de familias de patentes en el área relacionada con la cría de animales bajo el código A01K. De esta manera, estas áreas se constituyen como en las que más innovaciones se han desarrollado.

3.3. Inventores



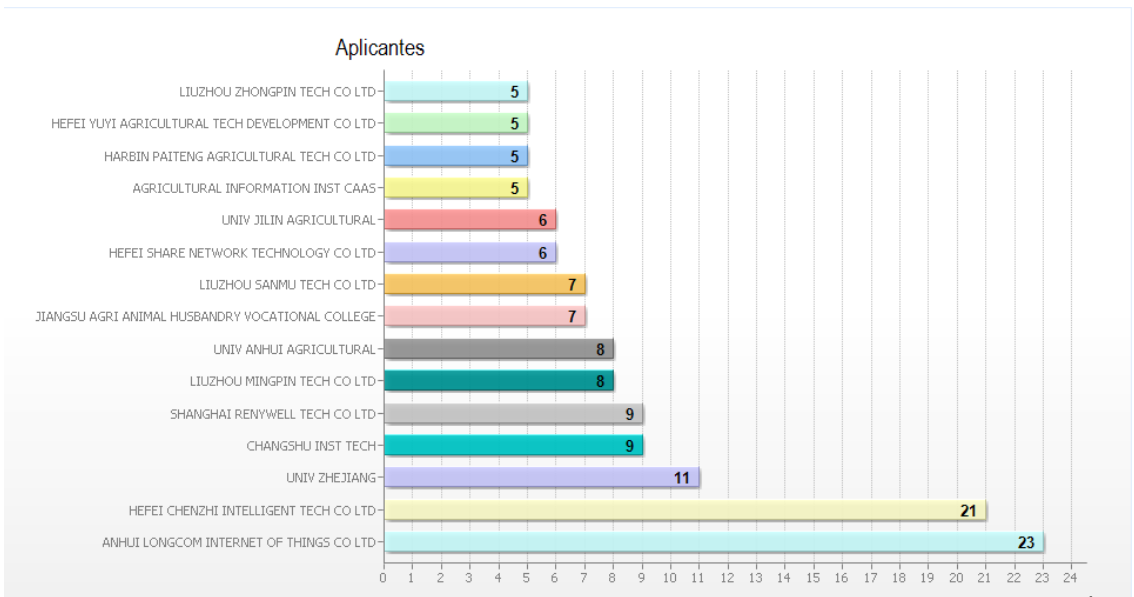
Gráfica 3 – Inventores Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

Los inventores tienen los derechos morales sobre la invención desarrollada y en el siguiente gráfico se muestran los principales inventores con patentes publicadas en el sector del IoT con aplicación en la agricultura.

Esta gráfica, permite observar los principales inventores con patentes publicadas relacionadas con el IoT aplicadas en el sector de la agricultura. Como principal inventor en el área mencionada, se presenta Xu Zhenyu con 17 publicaciones de patentes, y se puede observar a Zhang Lei y Zhang Wei con 14 y 13 publicaciones de patentes registradas respectivamente. Siendo estos los principales exponentes de innovación en el área relacionada.

3.4.Aplicantes

Los aplicantes corresponden a las personas u organizaciones que presentan las solicitudes de patentes y que, por lo tanto, son los titulares de estas haciéndose acreedores a los derechos que implican el título de propiedad. En la gráfica 4 se observan los principales aplicantes para el desarrollo de patentes en el IoT con aplicación en la agricultura.



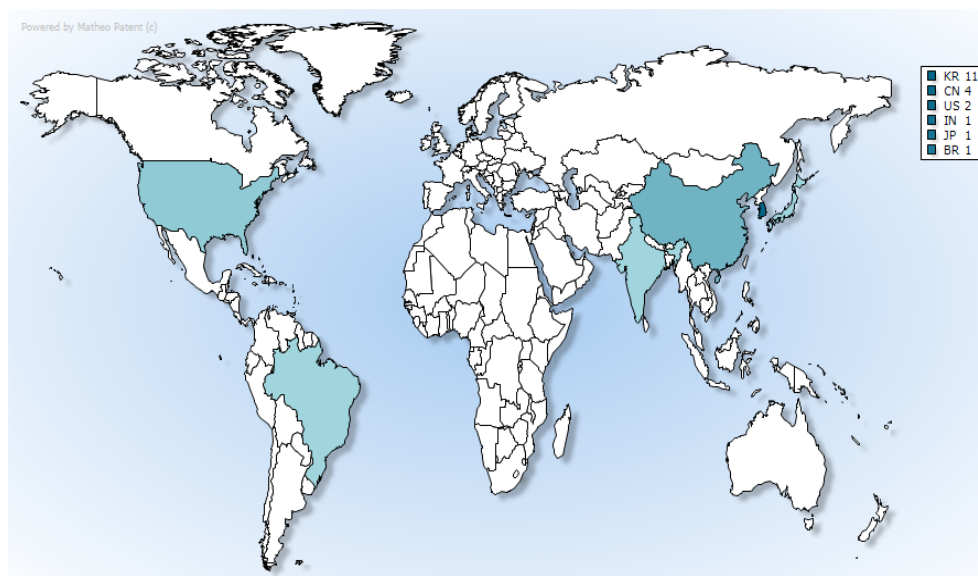
Gráfica 4 – Aplicantes Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

En la gráfica, se pueden observar las principales organizaciones promotoras de los desarrollos tecnológicos e innovaciones en el IoT para el sector de la agricultura.

Las principales organizaciones son Anhui Longcom Internet of Things Co., Ltd, una empresa de alta tecnología líder en agricultura IoT en China, Hefei Chenzhi Intelligent Tech Co., Ltd, es una empresa de alta tecnología, que se especializa en investigación y desarrollo tecnológico, y la Universidad de Tecnología de Zhejiang, una de las mejores universidades industriales de China.

3.5. Países de inventores

En la gráfica 5 se observan las nacionalidades de los principales inventores en el desarrollo tecnológico en el área del IoT con aplicación en el sector de la agricultura.

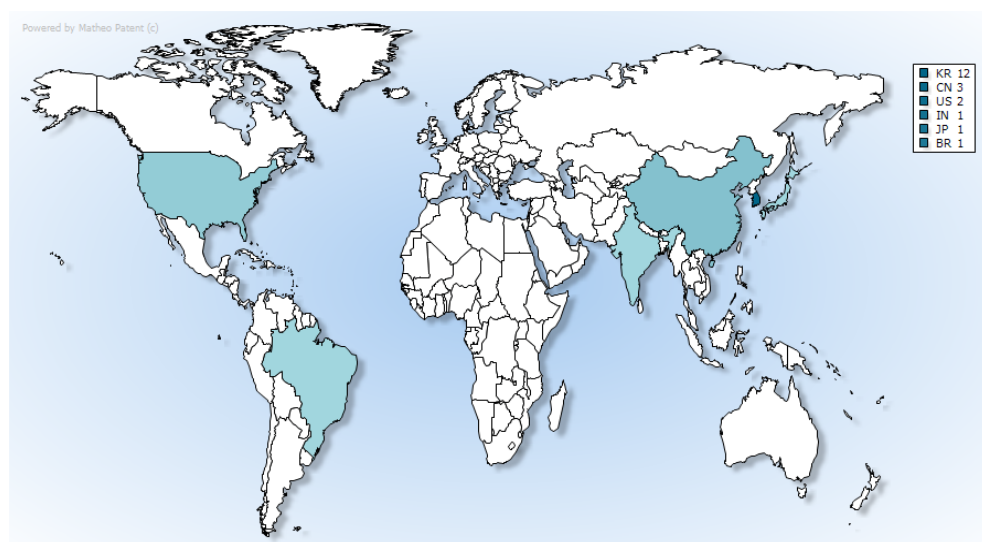


Gráfica 5 – Países de Inventores Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

Esta gráfica permite observar los principales países, nacionalidades de los inventores que contribuyen a la evolución y desarrollo en área del IoT aplicada en el sector de la agricultura, teniendo como principales exponentes a Corea del Sur, China y Estados Unidos. A nivel Latinoamérica, Brasil se muestra como el principal país exponente de desarrollo en el área.

3.6. Países de aplicantes

En la gráfica 6 se observan los países con organizaciones aplicantes en el desarrollo tecnológico en el área del IoT con aplicación en el sector de la agricultura.



Gráfica 6 – Países de Aplicantes Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes, Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

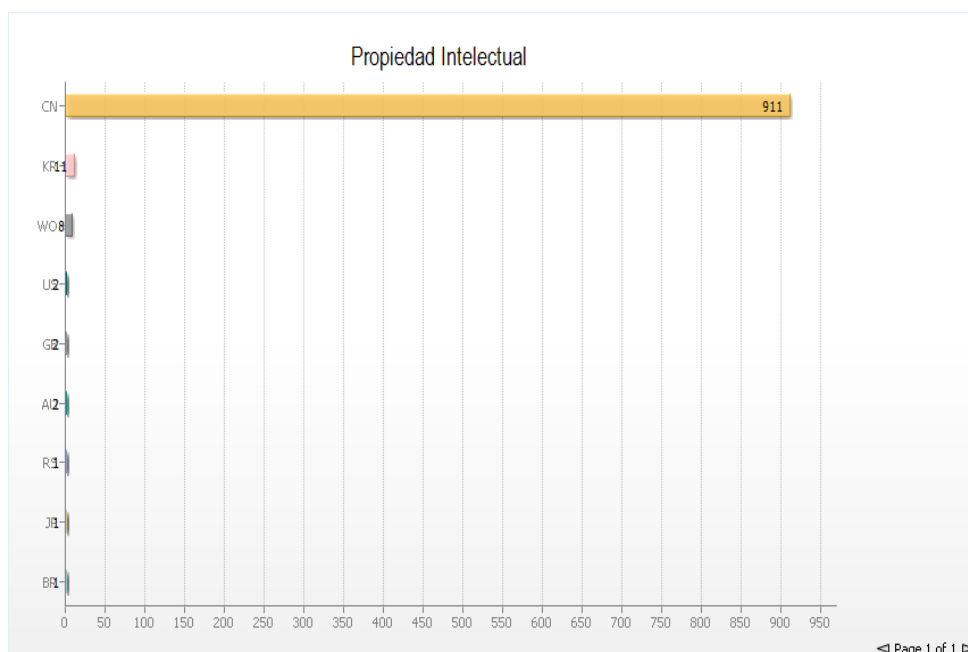
Esta gráfica permite observar los principales países con organizaciones promotoras de producción de familias de patentes, que contribuyen al desarrollo en área del IoT aplicadas en el sector de la agricultura. Corea del Sur, China y Estados Unidos son los países con mayor cantidad de organizaciones que trabajan en el desarrollo tecnológico en esta área de aplicación.

3.6. Propiedad intelectual

Las patentes son válidas en el país o región en los que se ha presentado solicitud o registro de publicación y se obtiene la titularidad de la patente, de acuerdo con las normas vigentes. En la gráfica 7 se observa los países en los cuales se han protegido las familias de patentes relacionadas con IoT aplicadas en el sector de la agricultura. Esta gráfica permite identificar que China es el principal país en el cual se protege la propiedad intelectual generada en esta área del IoT aplicadas en el sector de la agricultura, con 911 familias de patentes publicadas.

4. Discusión y conclusiones

El análisis de patentes mediante el software Matheo Patent ® permitió un ejercicio pertinente sobre las familias de patentes en el área del IoT aplicadas al sector de la agricultura, debido a las características de búsqueda de la información y herramientas de análisis concreto. Lo anterior, permitió observar las tendencias globales en cuanto a desarrollo tecnológico permitiendo generar una visión concreta de la evolución en esta área de desarrollo.



Gráfica 7 – Propiedad Intelectual Fuente: Autores, con soporte de Matheo Patent® Software, con datos de la base de datos de patentes Espacenet con fecha de corte septiembre de 2019.

La dinámica de patentamiento ha aumentado de manera significativa respecto al periodo de tiempo de análisis, siendo la primera familia de patentes presente en el año 2010 y a través de los años ha tenido un comportamiento creciente, siendo el más notable el 2018 con el mayor número de publicaciones. Lo anterior, es más interesante si se consideran las áreas de desarrollo tecnológico, clasificadas de acuerdo con los códigos IPC, puesto que evidencia como las innovaciones en el desarrollo tecnológico de IoT con aplicación en el sector de la agricultura se encuentran relacionado con los sistemas de control o regulación, transmisión de información digital y sistemas y métodos de tratamiento de datos; temas en los que se ubican el 66,27% de las publicaciones de familias de patentes analizadas en la muestra obtenida por medio de la búsqueda realizada en con la ayuda de Matheo Patent® Software en la base de datos Espacenet.

El análisis de información realizada permitió identificar 702 inventores con familias de patentes en el área de IoT, siendo los principales inventores Xu Zhenyu Zhang Lei y Zhang Wei de nacionalidad China, quienes concentran la mayor cantidad de publicaciones de familias patentes registradas contando con 17, 14 y 13 respectivamente, con un total de 44 entre estos tres principales inventores.

Dentro de las organizaciones que son aplicantes y promueven con su financiamiento la generación del desarrollo tecnológico e innovaciones dentro del área del IoT aplicado a la agricultura, se encuentran organizaciones como compañías tecnológicas e instituciones de educación superior como las universidades. Longcom Internet of Things Co.,

Ltd, se muestra como la organización aplicante más influyente, siendo el líder de la agricultura inteligente de China; pues esta compañía ha financiado la publicación de 23 familias de patentes con fines de resolver los problemas centrales de la seguridad alimentaria. Mientras que la Universidad de Tecnología de Zhejiang se presenta como la principal institución de educación superior enfocada en la búsqueda de soluciones para el área de la agricultura, razón por la cual presenta 11 publicaciones de familias de patentes publicadas.

China, es el país en el que se ha protegido con mayor intensidad los desarrollos tecnológicos relacionados con el IoT aplicados en la agricultura, concentrándose con mayores publicaciones que países como Corea del Sur y Estados Unidos, los cuales son los principales países exponentes en la promoción del desarrollo tecnológico en área analizada en este artículo de investigación. En China se registran 911 familias de patentes publicadas, representando más del 89,3% de la muestra de la base de datos analizada.

Como expectativas para el desarrollo a futuro en el área se espera que la dinámica de patentamiento relacionada con el sector IoT aplicada en agricultura aumente durante los próximos años especialmente en los códigos IPC con el mayor número de patentes asociadas. Además, se cuenta con la posibilidad de el desarrollo de patentes en conjunto por parte de los diferentes aplicantes.

Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), financiador, y a la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), ejecutor, puesto su acompañamiento ha permitido desarrollar las actividades de investigación del proyecto AGRIoT, y a partir de lo cual fue posible identificar la necesidad de este artículo de investigación. El proyecto AGRIoT inició tras firma del contrato de financiamiento de recuperación contingente No 80740-200-2019, entre Colciencias y la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Referencias

- Archibugi, D., & Iammarino, S. (2002). The globalization of technological innovation: Definition and evidence. *Review of International Political Economy*, 9(1), 98–122. <https://doi.org/10.1080/09692290110101126>
- Arencibia Jorge, R., & Moya Anegón, F. (2008). La evaluación de la investigación científica : una aproximación teórica desde la cienciometría The evaluation of scientific research : a theoretical approach from scientometrics. *Acimed*, 17(4), 1–27.
- Aristodemou, L., Tietze, F., Athanassopoulou, N., & Minshall, T. (2017). *Centre for Technology Management Centre for Technology Management working paper series Exploring the Future of Patent Analytics Exploring the Future of Patent Analytics: A Technology Roadmapping approach 1*. (5). <https://doi.org/10.17863/CAM.13967>
- Bernal Calderón, G. (2006). El desarrollo tecnológico, una perspectiva social y humanista. *I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I*, 1–10.

- Breitzman, A., & Thomas, P. (2015). The Emerging Clusters Model: A tool for identifying emerging technologies across multiple patent systems. *Research Policy*, 44(1), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.06.006>
- Campis, L. E. M., & Gámez, Z. J. O. (2012). *Influence of the Intelligent Agents in the*. 11, 51–62.
- Czajkowski, A. (2018). *Patent Searching Using Espacenet*.
- Gómez, E., Navas, D., Mayor, G., & Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica. *Dyna*, 81(184), 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.04.017>
- Han, Q., Heimerl, F., Codina-Filba, J., Lohmann, S., Wanner, L., & Ertl, T. (2017). Visual patent trend analysis for informed decision making in technology management. *World Patent Information*, 49, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2017.04.003>
- Jimenez, R., & Armando, M. (2013). *Desarrollo Tecnológico Y Su Impacto En El Proceso De La Globalización*. 1, 123–150. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545895010>
- Luca, L., Sforza, C., Sonnino, A., & Ruane, J. (2016). *La innovación en agricultura y las biotecnologías agrícolas como herramientas de las políticas de seguridad alimentaria*. Sonnino, A. and J. Ruane. (2013). In: Elizabeth Hodson y Teodora Zamudio (eds.) “Biotecnologías e innovación: el compromiso social de. 1–28.
- Odegard, I. Y. R., & van der Voet, E. (2014). The future of food - Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. *Ecological Economics*, 97, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.005>
- OMPI. (2013). Guía de la OMPI para la utilización de información de patentes. *Publicación de La OMPI, L434/3(s)*(978-92-805-1744-6), 44.
- ONU, CEPAL, & FAO. (2013). *Agricultura y cambio climático: nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático Memoria del tercer seminario regional de agricultura y cambio climático, realizado en Santiago, 27 y 28 de septiembre de 2012*. 97. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7069/1/LCL3714_es.pdf
- Smithers, J., & Blay-Palmer, A. (2001). Technology innovation as a strategy for climate adaptation in agriculture. *Applied Geography*, 21(2), 175–197. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(01\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(01)00004-2)
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Wittfoth, S. (2019). Measuring technological patent scope by semantic analysis of patent claims – An indicator for valuating patents. *World Patent Information*, 58(August 2018), 101906. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2019.101906>

El rol de los modelos en el aprendizaje organizacional y el diseño de políticas

Gabriel Mauricio Martínez Toro¹, Gerly Carolina Ariza Zabala¹, Andrés Rey Piedrahita²

gmartinez714@unab.edu.co, gariza@unab.edu.co, arey@uceva.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga, Cra 34 #41-51, 680003, Bucaramanga, Santander, Colombia.

² Universidad Central del Valle del Cauca, Cra 27A #48-144 Km 1 salida sur, 763022 - Tuluá- Valle del Cauca, Colombia

Pages: 386–398

Resumen: Este artículo busca definir el rol de los modelos mentales, conceptuales y de simulación en el aprendizaje organizacional y en el diseño de políticas. Se desarrolló una revisión de literatura en la base de datos Web Of Science y por medio del software de análisis bibliométrico VOSVIEWER se llevó a cabo el análisis de co-citación de los resultados, con el fin de definir los autores y las publicaciones más relevantes. Por medio de la revisión de las publicaciones se pudo proponer una definición del papel de los modelos en el aprendizaje organizacional y el diseño de políticas. Los modelos mentales participan como la visión del mundo y la manera en que este es interpretado, las representaciones conceptuales representan de manera simplificada una parte de la realidad y los modelos de simulación facilitan la visualización y la valoración por escenarios evitando los riesgos de la experimentación en el mundo real.

Palabras Clave: Modelos; Aprendizaje; Organizaciones; Políticas; Dinámica de sistemas.

The role of models in organizational learning and policy design

Abstract: This paper aims to define the role of mental, conceptual and simulation models in organizational learning and policy design. A literature review was developed in the Web of Science database and through the bibliometric analysis software VOSVIEWER the co-citation analysis of the results was carried out in order to define the most relevant authors and publications. By reviewing the publications, it was possible to propose a definition of the role of models in organizational learning and policy design. The mental models participate as the vision of the world and the way in which it is interpreted, the conceptual representations represent in a simplified way a part of reality and the simulation models facilitate the visualization and evaluation by scenarios avoiding the risks of experimentation in the real world.

Keywords: Modelos; Aprendizaje; Organizaciones; Políticas; Dinámica de sistemas.

1. Introdução

Los modelos, el aprendizaje organizacional y el diseño de políticas han sido relacionados a manera de promover estrategias que faciliten el desarrollo de las organizaciones. Diversos enfoques organizacionales se han centrado en el individuo, como objeto de cambio, siendo este analizado e intervenido en aras de buscar cambios en su manera de pensar y de actuar. La experimentación en un contexto real trae beneficios en cuanto a la recolección de información de primera mano, el aprendizaje de experiencia, entre otras, pero tiene serias limitaciones que la hace inviable en ocasiones, tales como: El costo en el que se incurre en la experimentación y la posibilidad de los costos incurridos por fracasos, el tiempo necesario para hacer la preparación del experimento y los inconvenientes que derivan atrasos, la incapacidad de replicar un experimento debido a las variaciones de las características iniciales, el peligro procedente de los errores o catástrofes que pueden tener costos no solo monetarios sino humanos y en ocasiones la legalidad asociada a ciertos experimentos los hacen impensables (Pidd, 2003). Ante la imposibilidad de experimentar siempre en la fuente, aparecen los modelos, como una representación de la realidad, o parte de la realidad, que busca ser una aproximación de un sistema real, el cual pueda ser intervenido sin las consecuencias que se derivan de actuar directamente en el mundo real.

El rol de los modelos en los procesos de aprendizaje organizacional y el diseño de políticas arroja cuestionamientos que deben ser confrontados con la realidad teórica. En coherencia con lo anterior, este documento busca definir el rol de los modelos (mentales, conceptuales y de simulación) en el aprendizaje organizacional y el diseño de políticas.

2. Metodología

Para desarrollar este documento se usó la base de datos indexada Web of Science (WOS) para ubicar la muestra de artículos científicos y el software de análisis bibliométrico VOSVIEWER para hacer el análisis de co-citación de la muestra. El análisis de co-citación muestra los autores que han sido más veces citados en conjunto, lo cual les da mayor relevancia en el espectro académico y para hacer el análisis que este documento propone se ubican sus escritos más citados dentro de la muestra.

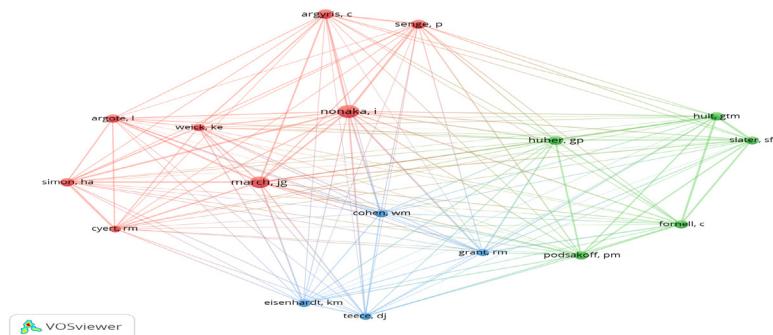


Figura 1 – Co-citación con Autores como Unidad de análisis.

Con el fin de conocer los modelos de aprendizaje organizacional más nombrados se hizo la búsqueda con las expresiones “Organizational Learning” y “models”. La búsqueda arrojó 1275 artículos. Los autores que han tenido mayor número de co-citaciones son Ikijuro Nonaka, James March, Chris Argyris, George Huber y Peter Senge (Figura 1). De los autores más citados, sus documentos más referenciados se toman como la muestra a revisar, este resultado se visualiza en la Figura 2.

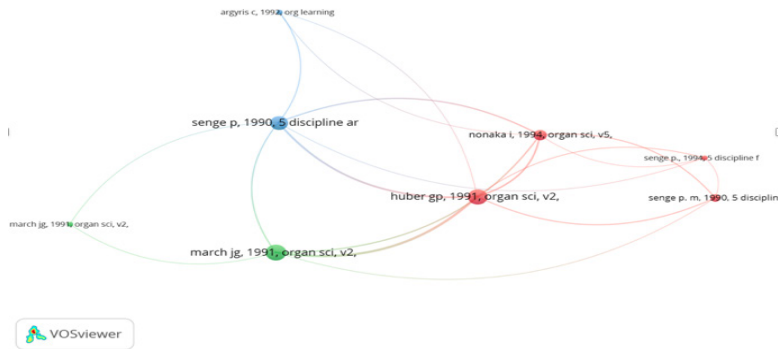


Figura 2 – Publicaciones más citadas por autor

En el enlace entre modelos y diseño de políticas, el estudio se va a centrar en la dinámica de sistemas como un enfoque alternativo para administración, los sistemas y las ciencias sociales (Forrester, 1961), desde el cual se pueden inferir comportamientos, generar aprendizajes y diseñar políticas que mejoren el rendimiento del sistema. La dinámica de sistemas, tradicionalmente se ha usado para resolver asuntos de administración pública, desde la valoración de políticas en áreas como la seguridad, medio ambiente, salud pública, bienestar social, entre otros (Ghaffarzadegan, Lyneis, & Richardson, 2011). Las políticas como una regla orientada a la acción, guían las decisiones como normas planteadas para condiciones particulares (Jay W. Forrester, 1992).

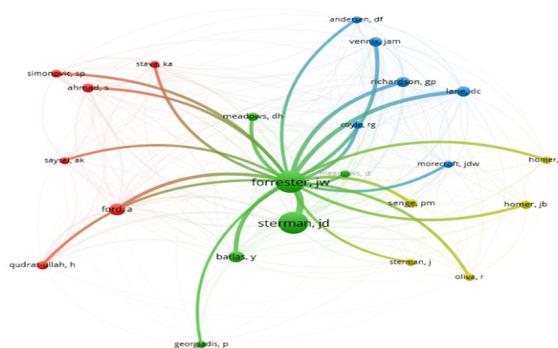


Figura 3 – Co-citación con autores como unidad de Análisis

Para abordar el rol de los modelos en el diseño de políticas se hizo una revisión de literatura acotando la búsqueda los términos “System Dynamics” y “Polic*”. De la búsqueda resultaron 1.524 documentos. Los cinco autores más citados de la muestra son Jhon Sterman, Jay Forrester, Andrew Ford, Yaman Barlas y George Richardson (Figura 3). Los documentos tomados como muestra se observan en la Figura 4. Debido a que la disponibilidad de acceso al documento de Richardson es limitada, se tomó a Jac Vennix y su documento más citado, al ser el siguiente autor en la lista de co-citación.

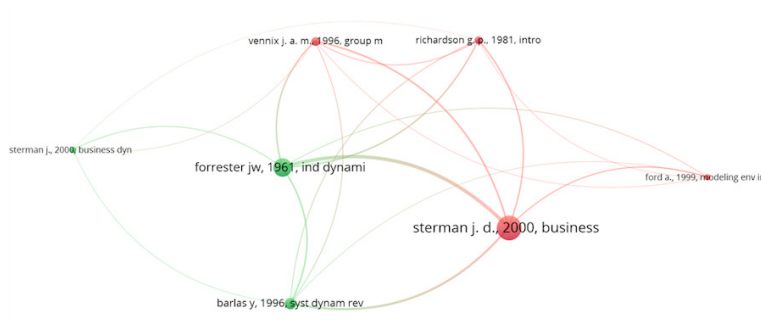


Figura 4 – Publicaciones más citadas por autor

3. Modelos

El concepto de modelo es un concepto muy amplio, el cual tiene distintas perspectivas según el tipo de modelo, a saber, modelos concretos, modelos verbales, modelos matemáticos, modelos visuales, modelos simbólicos, modelos gestuales, entre otros (Landriscina, 2013).

Los modelos han estado y han sido parte de la evolución del ser humano, inicialmente como modelos mentales que ayudaron a su comprensión del mundo, modelos que les ampliaron la capacidad de prever el comportamiento animal, y de otros humanos en su interacción diaria y las consecuencias complejas de las mismas. A la par de la evolución del hombre, los modelos evolucionaron de modelos mentales a modelos externalizados cognitivos dando pie al desarrollo de formas más complejas de interacción como el lenguaje y la escritura que brindó un significado real a sus representaciones simbólicas (Landriscina, 2013).

Los modelos pueden definirse como una “representación de la realidad definida para un propósito particular” (Pidd, 2003). En el mundo organizacional, en ocasiones es necesario tomar decisiones de acción las cuales generan beneficios en la organización, aunque algunas veces estas decisiones pueden ser muy costosas, especialmente si se trata de generar aprendizaje por medio de experimentación.

4. Modelos de aprendizaje Organizacional

Argyris & Schon (1978) indican que el aprendizaje organizacional difiere del aprendizaje personal, ejemplarizando que “en ocasiones las organizaciones saben menos que lo que

saben sus miembros, o que las organizaciones no logran aprender todo lo que cada uno de sus miembros sabe” (p.9). La teoría de la acción y la teoría en uso, la primera como la definición formal de la acción de una organización y la segunda como las acciones que realmente se desarrollan en la organización, que se hacen tácitas al observar el comportamiento de los individuos pertenecientes a la organización, evidencian el conflicto entre lo que las personas dicen que dirigen sus acciones y la evidencia real de estas.

La teoría en uso en una organización es un todo que se completa con la visión de los miembros de la organización, ya que cada uno de ellos tiene una percepción parcial de la misma y adicionalmente se forma por la interacción entre ellos. Existe una imagen colectiva en contexto de la organización, la cual los individuos la definen como el conjunto en el cual se ven ellos mismos y los demás, como un artefacto o un organismo con células que contienen una partes particulares, parciales y cambiantes con relación a un todo, el todo que representa la organización.

La representación gráfica de la teoría en uso en la organización brinda la oportunidad de revelar patrones de comportamiento y guías de acción particulares, las cuales son dinámicas y se modifican al paso del tiempo. Estas transformaciones pueden ser cambios a manera de deterioro, denominado entropía organizacional, la cual da pie al concepto de aprendizaje organizacional de ciclo simple en el cual los miembros de la organización, actuando como agentes de aprendizaje, detectan un error, lo corrigen y así velan por mantener las características centrales y la memoria de la organización, promulgando la habilidad de mantener estabilidad de la organización en contextos cambiantes. El concepto de aprendizaje organizacional de doble ciclo aparece al existir momentos en que las normas de la organización deben ser modificadas como respuesta a un error detectado, creando nuevas normas que responden a las inconsistencias percibidas. Cuando se genera este tipo de aprendizajes se traducen en imágenes y mapas de la teoría en acción de la organización, este aprendizaje de aprender se denomina deuterio-aprendizaje.

Por otra parte, March (1991) con su dicotomía de la exploración de nuevas posibilidades de aprendizaje organizacional y la explotación de antiguos conceptos, analiza las opciones y los beneficios que se derivan del problema de seguir alguno de los caminos, entendiendo que encontrar el balance ideal es una tarea compleja al estar un todo inmerso en un sistema integrado que se compone de niveles individuales, organizacionales y sociales.

Mientras las organizaciones reparten sus recursos entre explorar y explotar, los aprendizajes se pueden ver minados por los efectos recursivos en el tiempo, ya que la incertidumbre de las salidas en el caso de explorar nuevas alternativas, pueden plantear situaciones en las que los resultados de la experimentación en lapsos cortos no sean los esperados, pero en periodos largos generen beneficios más allá de lo presupuestado o viceversa. El caso de explotar brinda mayores esperanzas que los aprendizajes sean exitosos, a razón de la proximidad en el tiempo de los efectos en la red en la cual la organización interactúa y de la velocidad de adquirir competencias ya probadas.

El autor hace énfasis y modela en sistemas cerrados y abiertos dos características sociales que predominan en el balance entre la explotación y la exploración; el aprendizaje mutuo de la organización y el individuo, lo cual tiene implicaciones en el entendimiento

y administración de los beneficios entre la explotación y exploración y el aprendizaje organizacional en el contexto de organizaciones que compiten entre sí por una posición, a través de la mezcla entre ventajas competitivas y conocimiento.

Adaptación organizacional, aprendizaje, análisis, imitación y el aprovechamiento de cambios tecnológicos, deben hacer parte de toda iniciativa de aprendizaje organizacional para favorecer el rendimiento y las ventajas competitivas. En términos generales, March (1991) hace un paralelo en la manera en que las organizaciones enfrentan los retos que se presentan en el aprendizaje organizacional, a partir de la adaptación a contextos existentes o a la búsqueda de nuevos paradigmas para desarrollar el lenguaje y el comportamiento de las organizaciones.

Por su parte, Ikujiro Nonaka (1994) con la teoría dinámica de la creación del conocimiento organizacional, aporta la diferenciación entre el conocimiento tácito y el conocimiento explícito, siendo esta una “dimensión epistemológica de la creación del conocimiento organizacional” (p.15) y una dimensión ontológica de la creación de conocimiento por la interacción social entre individuos, que comparten y desarrollan conocimiento.

El conocimiento tácito se entiende como el conocimiento que se encuentra inmerso en el ser, hace parte de la visión individual y las perspectivas propias que le ayudan a definir el mundo, lo cual lo hace difícil de transmitir con lenguaje formal. El conocimiento explícito, por su parte, se encuentra almacenado de manera formal en bases de datos, bibliotecas, documentos empresariales, de manera digital o impresa, y compila datos e información del pasado de manera secuencial.

El conocimiento desde la perspectiva ontológica parte de la premisa que es creado por individuos y que se permea a la organización por medio de procesos de amplificación que lo hacen posible y que lo transforman en una red de conocimiento dentro la organización, proporcionando así, la iteración de manera cíclica el modelo dinámico de creación de conocimiento, en forma de espiral, entre el conocimiento tácito y explícito, moviéndose a través de los niveles de la organización, creando una expansión sinérgica de conocimiento por parte de los individuos y la organización.

Por otra parte, Huber (1991) refiriéndose al aprendizaje organizacional, ilustra el camino en que se adquiere el aprendizaje por medio de 4 constructos: (i) Adquisición de Conocimiento, (ii) distribución de la información, (iii) interpretación de la información y (iv) la memoria organizacional.

Huber menciona cinco sub-procesos para la adquisición de conocimiento: (i) El aprendizaje congénito, planteado como la concepción de la empresa a partir de las experiencias previas de los fundadores y su visión del deber ser de la organización y formalizada en el momento de la creación de esta. (ii) El aprendizaje experimental el cual facilita el análisis de la realimentación y consecuencias de las decisiones, generando aprendizaje a partir de la experiencia, contemplando la experimentación por parte del individuo, la organización, el aprendizaje por medio de respuestas inesperadas y el modelamiento para generar entendimiento. (iii) El aprendizaje indirecto a través de la apropiación de prácticas y tecnología probada en otras organizaciones, contrario a la experimentación, es un aprendizaje de segunda mano. (iv) La transferencia de conocimiento de nuevos miembros de la organización que brindan aprendizaje adquirido en otras organizaciones.

Regularmente las organizaciones no saben cuánto saben, salvo por la documentación que formalmente se documenta, de tal forma que la distribución de la información es el proceso para ampliar el aprendizaje organizacional, por medio de entregar el conocimiento a la organización desde los lugares en que esta se produce. Cuando la información se distribuye a través de la organización de manera amplia, haciendo que las fuentes de información sean más variadas, que se conciente la tarea de recolectar la información, se combine entre las unidades y que de manera sinérgica se comprenda quien necesita conocer la información, se aumenta la probabilidad que sea exitoso el proceso de aprendizaje entre todos los individuos de la organización.

El proceso en el cual la información se traduce en entendimiento compartido y adquiere su significado organizacional se define como el proceso de interpretación de la información. El desarrollo de múltiples entendimientos e interpretaciones, que evidencia el aprendizaje organizacional, cambia de manera potencial el comportamiento de los individuos en aras del desarrollo de la organización. La interpretación de la información se ve claramente evidenciada por la información contenida en mapas conceptuales de la organización, la uniformidad de la transmisión de la información, la disponibilidad de individuos que medien su transferencia, el exceso de información y los procesos de desaprendizaje de conocimientos previos.

El último constructo corresponde a la memoria organizacional, la cual se ve afectada por las pérdidas de conocimiento asociado a la rotación de personal, la información que no ha sido recolectada al no prever su utilidad futura, el desconocimiento de la información recolectada por otros miembros de la organización, todos estos derivando en el problema de una pobre memoria organizacional.

El concepto de la “organización que aprende” y el desarrollo organizacional con su máximo exponente Peter Senge (1990) y su quinta disciplina, brindó una ruta hacia la comprensión del aprendizaje organizacional partiendo de conceptos de sistemas de realimentación propuestos por Forrester (1968) y el aprendizaje organizacional de Argyris & Schon (1978), ilustrando el concepto de “visión holística” que describe los efectos de las variables interrelacionadas en un sistema como un todo.

El entendimiento de un sistema es la piedra angular de la quinta disciplina, justificado por los efectos al paso del tiempo que no son percibidos a primera vista, planteando que los problemas organizacionales tienen sus raíces en decisiones pasadas, que el comportamiento positivo de hoy puede ser negativo mañana, que la solución puede ser peor que el problema y que pequeños cambios pueden generar grandes resultados, todo a causa del desconocimiento del sistema que lo gobierna. La quinta disciplina se deriva de las cinco disciplinas fundamentales para construir la organización que aprende, enunciadas a continuación.

La primera disciplina corresponde al dominio personal, fundamentada en el principio que las organizaciones aprenden a través de individuos que aprenden, como una disciplina encaminada al crecimiento personal, deseo incremental de las habilidades, dominio más allá de la competencia y destreza, clarificando que es lo que es realmente importante para el individuo y desarrollando la orientación hacia propósitos y cumplimiento de metas por medio de una visión sistémica.

La segunda disciplina corresponde a los modelos mentales, los cuales son imágenes particulares y personales del mundo que delinean la manera en que los individuos se comportan y actúan. Los modelos mentales son invisibles y forman parte de un conocimiento tácito que guía las interpretaciones y que explican la variedad de entendimientos de los individuos a un evento compartido. Estos modelos restringen la capacidad de cambio de las personas ya que ellos determinan el entendimiento del sentido del mundo y los tipos de acción que de allí se despliegan. Trabajar con modelos mentales en la organización favorece al desarrollo de capacidades, de habilidades y la comprensión de los entendimientos particulares del mundo que cobijan el conglomerado llamado empresa.

La visión compartida como tercera disciplina, es inspirada por metas, orientaciones, logros y es evidenciada por una fuerza de cohesión que focaliza a los miembros de un grupo hacia una visión colectiva. La visión compartida surge de visiones personales, que encaminadas a cumplir visiones propias apunten a cumplir la visión general, de no ser así, los individuos que siguen una visión compartida que no los representa, simplemente harán parte de un grupo, mientras que si su visión hace parte de la visión compartida todos trabajarán como uno hacia el logro de esta.

El trabajo del aprendizaje en equipo hace parte de la cuarta disciplina que busca que se desarrolle un pensamiento colectivo encaminado a la acción colectiva, partiendo de un rendimiento particular, complementado por un rendimiento general y de esta manera lograr beneficios generales por medio de la creación de la conciencia del contexto en el que se desarrolla.

Finalmente, la quinta disciplina corresponde al pensamiento sistémico, esta provee una forma de visualizar los problemas y metas de manera general como componentes de un sistema más grande que las contiene y estructura. El sistema es un todo que consta de elementos que se relacionan entre si y que al paso del tiempo se afectan unos a otros a consecuencia de su interacción. Esta disciplina permite el estudio de la estructura de un sistema y la manera en que este se comporta, visualizado por medio de modelos de simulación, lo que permite desarrollar habilidades para repensar los problemas y expandir la visión de corto plazo.

4.1. Rol de Modelos en los procesos de aprendizaje organizacional

En este punto, es necesario reconocer que los modelos se encuentran en todas partes, en el caso de los modelos mentales, algunos autores los reconocen como el conocimiento tácito (Ikujiro Nonaka, 1994), o los conceptos de la teoría en uso que se relaciona con el entendimiento y la visión del mundo (Argyris & Schon, 1978), de la misma manera en que el conocimiento es interpretado a partir de los criterios de los mediadores de información (Huber, 1991) y el entendimiento entre el aprendizaje mutuo entre la organización y las personas (March, 1991). Los modelos mentales tienen el rol de brindar la visión del mundo enfocado a la acción, que no puede obviarse o simplemente ignorarse ya que la visión del mundo afecta lo que se ve y la manera de interpretar y describir las experiencias (Checkland & Tsouvalis, 1997).

En esta vía, modelos como representaciones conceptuales, brindan la posibilidad de poner límites a los modelos mentales y de la misma manera ayudan a traducir el

conocimiento tácito hacia el conocimiento explícito, por medio de mapas conceptuales que son usados como elementos rectores de la acción y medios para revelar patrones de comportamiento (Argyris & Schon, 1978), representaciones de sistemas abiertos o cerrados para entender comportamientos al paso del tiempo (March, 1991), el planteamiento de procesos formales explícitos (Ikujiro Nonaka, 1994), el entendimiento compartido y su significado organizacional compartido (Huber, 1991) y las estructuras sistémicas a manera de hipótesis dinámicas para visualizar la estructura y los componentes de los sistemas (Senge, 1990). Podemos decir entonces que, el rol de los modelos como representaciones conceptuales es de simplificar el mundo real a través de modelos explícitos que representen una parte de la realidad buscando un objetivo particular.

Es allí donde los modelos de simulación, pueden reproducir algunos aspectos del sistema real, que evolucionan con el tiempo, de manera autónoma, pasando de un estado inicial a uno final, para crear comportamientos a partir de decisiones de los usuarios (Landriscina, 2013), permitiendo generar procesos de aprendizaje al simular las dinámicas de interacción al paso del tiempo y simular la acción de agentes de aprendizaje (Argyris & Schon, 1978), replicar las implicaciones en el entendimiento entre dos escenarios distintos de sistemas abiertos y cerrados (March, 1991), valorar la dinámica de la creación del conocimiento (Ikujiro Nonaka, 1994), identificar cambios en el estado de los factores generadores de la pérdida de memoria organizacional (Huber, 1991) y evaluar el comportamiento de sistemas dinámicos y su estructura (Senge, 1990). El rol de los modelos de simulación en los procesos de aprendizaje organizacional es de facilitador para visualizar posibles escenarios y sus resultados, sin incurrir en las desventajas mencionadas de la experimentación en la realidad.

5. Modelos en el diseño de políticas

Jay (Forrester, 1961) indica que por medio del conocimiento de la estructura organizacional, los retrasos, los generadores de acción y las reglas que gobiernan el sistema, se desarrollan modelos de simulación que representan el comportamiento del sistema de manera integrada, como un todo, y usado como herramienta de validación de políticas por medio de la experimentación de parámetros y sus posibles resultados.

El proceso de desarrollo de un modelo inicia con la descripción detallada del sistema y su representación conceptual, de manera que los procesos se encuentren definidos e interrelacionados. Los ciclos planteados en diagramas causales están compuestos por flujos y niveles, siendo los niveles variables que definen el estado del sistema y los flujos las tasas de cambio que dependen y generan cambios en los niveles. Las tasas de cambio son definidas como las declaraciones de las políticas, las cuales constan de cuatro componentes: (i) La meta del proceso de toma de decisiones, (ii) la política que define el proceso de toma de decisiones, (iii) la política que describe el proceso de determinar la discrepancia entre la meta y la condición observada en el sistema y (iv) la política que define una acción deseada que resulta de la discrepancia.

Por su parte, John (Sterman, 2000) aborda la dinámica de sistemas como un enfoque útil para entender problemas mediados por modelos mentales que precisan del entendimiento holístico para ser abordados. Este enfoque busca por medio de modelos

explicar el comportamiento del sistema al paso del tiempo y generar aprendizaje, como base para plantear políticas administrativas y estructuras organizacionales orientadas a alcanzar los objetivos corporativos.

Sterman indica que la fuente de la resistencia a las políticas se centra en el desconocimiento del problema, de su estructura y de las realimentaciones vistas como efectos no anticipados, para lo cual precisa que las barreras de los modelos mentales sean expandidas, y así reconocer y entender las implicaciones a futuro de las acciones del presente. Las políticas son condicionadas por estructuras definidas por las instituciones, las normas y las estrategias organizacionales, y adicionalmente son gobernadas por los modelos mentales.

Senge (1990) parte de la premisa de que en ocasiones los esfuerzos para resolver un problema no ofrecen los mejores resultados, incluso en ocasiones el remedio es peor que la enfermedad. Iniciativas propuestas para mejorar se diluyen por resistencia a políticas, causando retrasos en su implementación y efectos inesperados a causa de alguna variable no contemplada en el sistema. Todo esta conectado y tiene relación, de tal forma que para percibir un sistema interconectado es necesario tener una visión holística y de esa manera actuar coherentemente en el hoy, visualizando los resultados al paso del tiempo y mirando hacia el futuro.

Retomando la teoría de aprendizaje de las organizaciones (Argyris & Schon, 1978), el proceso de aprendizaje de doble ciclo presenta características que reemplazan la visión reduccionista, la visión a corto plazo, la visión estática del mundo, para rediseñar políticas y consecuentemente a las instituciones. El proceso de diseño de políticas comprende las siguientes etapas: (i) Especificación del escenario en el que se desenvuelve el problema, las variables, partes interesadas, modelos mentales, (ii) diseño de políticas, definición de metas, reglas, estrategias y representación de estructuras del mundo real, (iii) análisis de escenarios por medio de la variación de parámetros e identificación de los efectos de la implementación de las políticas, (iv) análisis de sensibilidad para determinar la robustez de la política en diversos escenarios, y (v) la interacción de políticas para entender como las políticas generan sinergias y realimentaciones.

En esta misma vía, Yarman Barlas (1996) menciona la dinámica de sistemas en el proceso de diseño de políticas y el uso de modelos causales que basan su validez en su estructura interna, con el fin de lograr no solamente reproducir o predecir el comportamiento del sistema, sino también explicar cómo el comportamiento del sistema es generado y proponer la vías para causar cambios a este. Teniendo en cuenta que los modelos de dinámica de sistemas son elaborados con la visión de valorar la efectividad de políticas o el diseño de estrategias encaminadas a mejorar el rendimiento y cambiar el comportamiento del sistema.

Por su parte, para Andrew Ford (1999) los modelos son un sustituto del sistema real que facilitan el trabajo en el mismo y son de utilidad para aprender nuevas cosas de lo que representa, así mismo, los modelos son construidos para ayudar al entendimiento de los patrones de comportamiento de los sistemas y son útiles en situaciones complejas, en las cuales existe incertidumbre o alta aleatoriedad en las variables de entrada. El proceso de planteamiento de políticas se caracteriza por los siguientes pasos: (i) Discusión y definición del problema, (ii) representación gráfica de la problemática, que represente

la dinámica del problema al paso del tiempo, (iii) definición de las políticas a evaluar, partiendo de una situación inicial comparada con escenarios propuestos y simulados, (iv) representación de las variables y sus interconexiones en flujos y niveles en un simulador computarizado.

Jac Vennix (1999) con su metodología de la construcción de modelos en grupo (GMB), involucra a los dueños de problemas complejos y no estructurados, en el proceso de concepción del modelo y abre paradigmas en lo que a modelamiento compete. El proceso GMB logra capturar de primera mano los modelos mentales del grupo, adicionalmente, genera un sentido de valor al modelo que amplía la posibilidad de su implementación y como ganancia principal, incentiva, favorece y estimula el proceso de aprendizaje en el grupo.

La limitada capacidad de procesar información por parte de los individuos es una de las fuentes de problemas complejos, ya que la mente humana tiene limitaciones para pensar en términos causales, ignorando los procesos de realimentación que generan deterioro en los sistemas. Esta limitante reduce su impacto en el GMB por medio del aprendizaje basado en mapas conceptuales y modelamiento cuantitativo.

La percepción de la realidad de manera individual y sus diversas interpretaciones, hacen que las visiones sean afectadas por factores como el nivel profesional, intereses o posición en la organización. La interpretación de las situaciones también es influenciada por lo que las otras personas piensan. Finalmente, otro factor de distorsión es la memoria humana que actúa no solo a manera de recuerdo, sino como un elemento que almacena información que luego es reconstruida con el fin de acomodarla a ciertas creencias, haciendo notar que en ocasiones la memoria crea eventos que realmente no ocurrieron. El GMB trata de evitar la ocurrencia de estas ilusiones a consecuencia del mapeo riguroso y brinda la posibilidad de alinear los modelos mentales del grupo para facilitar el diseño de políticas, por medio del entendimiento de la estructura y el comportamiento de sistemas complejos y a través del recurso de la simulación brindar soporte para la toma de decisiones.

5.1. Rol de Modelos en el diseño de políticas

El rol de los modelos mentales en el proceso de diseño de políticas se explica en que éstos gobiernan la manera de actuar de los sistemas, como agentes tácitos e invisibles que dirigen a las organizaciones. Los modelos mentales deben entenderse de manera holística para ser abordados (Stermán, 2000), inciden en la falla en el diseño de políticas debido a la incapacidad de hacerlos explícitos (Vennix, 1999) y a la incapacidad de probar su validez a simple vista (Barlas, 1996), finalmente, son en gran parte los causantes de la complejidad en el planteamiento de políticas debido a la incertidumbre que ellos suponen (Ford, 1999).

El rol de los modelos como representaciones conceptuales en el diseño de políticas es el de visibilizar la relación de los componentes del sistema e interpretar la manera en que interactúan entre sí, para identificar puntos susceptibles para medidas de acción. La estructuración de los problemas, la visualización de sus componentes, la estructura a manera de interacciones causales (Forrester, 1961), hacer evidente la complejidad dinámica de los sistemas y sus procesos de aprendizaje (Stermán, 2000), buscar

reproducir o predecir el comportamiento de un sistema (Barlas, 1996), entender los patrones de comportamiento (Ford, 1999), entre otros, solo es posible a través de la representación conceptual de la estructura del sistema.

Es así, como la estructura dinámica de los sistemas es traducida a modelos computacionales, que representan el comportamiento del sistema, de manera integrada, al paso del tiempo (Forrester, 1961), que pretenden visualizar cambios en los patrones de comportamiento (Ford, 1999), en donde el costo de la experimentación no es elevado y la influencia de una política en la población no es irreversible, y da lugar para identificar comportamientos inesperados (Ghaffarzadegan et al., 2011). El desarrollo de herramientas de simulación hace posible que estos modelos sean usados como plataformas de aprendizaje y de entrenamiento (Barlas, 1996). Por lo anterior, el *rol de los modelos de simulación en el diseño de políticas* es de mejorar el entendimiento de los patrones de cambio en los sistemas, al paso del tiempo y de facilitar la visualización de escenarios propuestos.

6. Conclusiones

A manera de conclusión se sintetiza el rol de los modelos mentales, conceptuales y de simulación en el aprendizaje organizacional y en el diseño de políticas, siendo este el principal objetivo de este artículo. El rol de los modelos mentales en los procesos de aprendizaje es el de brindar la visión del mundo enfocado a la acción, que no puede obviarse o ignorarse ya que la visión del mundo afecta lo que se ve y la manera de interpretar y describir las experiencias. Los modelos mentales en el proceso de diseño de políticas tienen el rol de gobernar la manera de actuar de los sistemas, como agentes tácitos e invisibles que dirigen a las organizaciones.

El rol de los modelos como representaciones conceptuales en los procesos de aprendizaje es el de simplificar el mundo real a través de modelos explícitos que representen una parte de la realidad buscando un objetivo particular. En el diseño de políticas estos modelos visibilizan la relación de los componentes del sistema e interpretan la manera en que interactúan entre sí, para identificar puntos susceptibles para medidas de acción.

El rol de los modelos de simulación en los procesos de aprendizaje organizacional es de facilitador para visualizar posibles escenarios y sus resultados, sin incurrir en las desventajas de la experimentación en la realidad. En consonancia en el diseño de políticas los modelos de simulación tienen el rol de mejorar el entendimiento de los patrones de cambio en los sistemas, al paso del tiempo.

Referencias

- Argyris, C., & Schon, D. A. (1978). *Organizational Learning: A Theory of Action Perspective*. Addison-Wesley.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183-210. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4)

- Checkland, P., & Tsouvalis, C. (1997). Reflecting on SSM: the link between root definitions and conceptual models. *Systems Research and Behavioral Science*, 14(3), 153-154.
- Ford, A. (1999). *Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems*. Island press.
- Forrester. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Forrester, Jay W. (1968). Industrial Dynamics—After the First Decade. *Management Science*, 14(7), 398-415. <https://doi.org/10.1287/mnsc.14.7.398>
- Forrester, Jay W. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59(1), 42-63. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90006-U](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90006-U)
- Ghaffarzadegan, N., Lyneis, J., & Richardson, G. P. (2011). How small system dynamics models can help the public policy process. *System Dynamics Review*, 27(1), 22-44. <https://doi.org/10.1002/sdr.442>
- Huber, G. P. (1991). Organizational Learning: The Contributing Processes and the Literatures. *Organization Science*, 2(1), 88-115. <https://doi.org/10.1287/orsc.2.1.88>
- Ikujiro Nonaka. (1994). A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. *Organization Science*, 5(1), 14-37.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: a model-centered approach*. New York: Springer.
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71-87.
- Pidd, M. (2003). *Tools for thinking: modelling in management science* (2nd ed). Chichester, England ; Hoboken, NJ: Wiley.
- Senge, P. (1990). *The fifth discipline: The art and science of the learning organization*. New York: Currency Doubleday.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.
- Vennix, J. A. M. (1999). Group model-building: tackling messy problems. *System Dynamics Review*, 15(4), 379-401. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199924\)15:4<379::AID-SDR179>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199924)15:4<379::AID-SDR179>3.0.CO;2-E)

A importância do estudo da legislação de pessoal no levantamento de requisitos de software de folha de pagamento no serviço público brasileiro

Priscila Galeno, Kelly de F. Costa, Valmi A. de Sousa, Alexandre de O. Kruger, Gabriel de O. Alves, Rafael T. de Sousa Jr.

priscila.silva@redes.unb.br; kelly.costa@redes.unb.br; valmi.ferreira@redes.unb.br;
alexandre.kruger@redes.unb.br, gabriel.alves@redes.unb.br, desousa@unb.br

Laboratório de Tecnologias da Tomada de Decisão – Latitude/Universidade de Brasília

Pages: 399–411

Resumo: Diversos estudos apontam a falta de entendimento do negócio como uma das principais causas para o fracasso no desenvolvimento de softwares. No presente estudo, propõe-se, a partir da gestão do conhecimento, que se realize um trabalho focado nas regras de negócio, consistente na pesquisa, estudo, catalogação e disseminação da legislação de pessoal aplicável à folha de pagamento de servidores públicos brasileiros, com vistas ao levantamento de requisitos de sistema precisos e no desenvolvimento de um software de folha de pagamento seguro e eficaz.

Palavras-chave: regra de negócio; legislação; gestão do conhecimento.

Importance of public agents law in payroll software requirements

Abstract: Several studies point the business' misunderstanding as one of the main causes for software development failure. The proposal of this study is to conduct a work focused on business rules that is based on knowledge management and research consistence, cataloging and dissemination of payroll law of human resources of the brazilian public agents, aiming at the right way to gather software requirements to lead a correct path to the development of a safe and effective payroll software.

Keywords: business rule; legislation; knowledge management.

1. Introdução

A inexistência de clareza das regras e a carência de informações sobre o negócio, pela equipe de Tecnologia da Informação (TI), tem se mostrado como um problema nos projetos relativos ao desenvolvimento de softwares, uma vez que dificulta a entrega do produto com a segurança e precisão necessárias.

Diversos estudos demonstram a importância de uma eficiente gestão das regras do negócio para o sucesso do desenvolvimento de um software. Rosca *et al.* (1997) ressaltam que as regras de negócio se destacam por sua importância estratégica para o negócio, e, por isso, merecem atenção especial. Leite & Leonardi (1998) enfatizam a importância das regras de negócio para compreensão do macrosistema.

Pádua (2001) destaca que é comum encontrar situações onde, embora tecnicamente correto, o sistema não satisfaz às reais necessidades do negócio. Nesse sentido, Alvarenga (2007) aponta que a falta de disponibilidade das regras de negócio pode acarretar deficiências em atributos que lhe são adjacentes, como localização, documentação e compreensão semântica.

Segundo Sommerville (2007), uma definição rigorosa de confiabilidade relaciona a implementação do sistema à sua especificação, ou seja, o sistema se comporta confiavelmente se for consistente com o definido na especificação. Ainda de acordo com o autor, a confiabilidade e a disponibilidade são comprometidas pelas falhas do sistema, que se relacionam ao fornecimento de um serviço, à liberação conforme especificado ou à liberação de maneira insegura ou desprotegida. Algumas dessas falhas são consequências de erros de especificação.

Espíndola, Majdenbaum & Audy (2004), ao analisarem os desafios da Engenharia de Requisitos em Manutenção de Software, introduzem o estudo enfatizando que uma grande quantidade de projetos de software são cancelados ou fracassam, entre outros fatores, por não atenderem completamente às necessidades do cliente. Indicam que diversos trabalhos elegem a deficiência nos requisitos como uma das principais causas de fracasso em projetos de software.

Na situação em análise – desenvolvimento de software de folha de pagamento no serviço público brasileiro – o entendimento do negócio é um tanto quanto complexo, pois, no Brasil, entre leis, decretos, pareceres e acórdãos dos órgãos competentes, há uma imensidão de normas que disciplinam os servidores públicos. Além de numerosas, essas regras são alteradas com muita rapidez.

Atualmente, a principal norma que dispõe sobre os direitos e deveres dos servidores públicos brasileiros é a Lei Federal 8.112/1990, publicada há quase 29 anos. Madeira & Mello (2014) apontam-na como referência jurídico-normativa no campo da disciplina dos direitos, deveres, obrigações, responsabilidade, garantias, vantagens, assim como vedações e penalidades aplicáveis aos servidores públicos, observadas as disposições constitucionais pertinentes.

Madeira & Mello (2014) observam, ainda, que alterações na Constituição refletiram no regramento da Lei Federal 8.112/1990, o que gerou diversas alterações na lei, bem como a produção de muita jurisprudência sobre o assunto. Conforme levantamento realizado no sítio do Planalto, desde sua publicação, a Lei sofreu modificação por 39 outras leis e medidas provisórias – cada uma alterando um ou mais pontos sobre seus diversos subtemas.

Ademais, a Lei Federal 8.112/1990 é regulamentada por dezenas de decretos editados pelo Presidente da República, além de sofrer reflexo de outras leis, tais como a lei de responsabilidade fiscal, as leis orçamentárias, a lei de acesso à informação e as leis específicas de cada órgão.

Além de um grande número de normas aplicáveis aos servidores públicos, é bastante comum a ocorrência de atos normativos tratando do mesmo assunto de forma diversa, ou que abre margem a uma interpretação controversa. Para solucionar isso, é necessário o posicionamento do Órgão Central do Sistema de Pessoal Civil (SIPEC), a quem compete o estudo, a formulação de diretrizes, a orientação normativa, a coordenação, a supervisão, o controle e a fiscalização de assuntos relativos à Administração Federal; e cuja orientação geral firmada tem caráter normativo, de acordo com o que preveem o Decreto Federal 67.326/1970 e a Lei Federal 7.923/1989.

O Governo Federal Brasileiro dispõe de um banco de dados no qual reúne documentos emitidos pelo Órgão Central do SIPEC sobre legislação de pessoal, disponível no Portal SIGEPE LEGIS, onde é possível encontrar os seguintes documentos relativos à matéria: 532 notas informativas, 1.407 notas técnicas, 6 notas técnicas conjuntas, 2 orientações, 42 orientações consultivas, 230 orientações normativas, 237 pareceres, 74 portarias normativas, entre outros.

Acrescente-se que a legislação aplicável aos servidores públicos também sofre reflexo de outras fontes do Direito, tais como pareceres da Advocacia-Geral da União e acórdãos do Tribunal de Contas da União e de diversos órgãos do Poder Judiciário. Araújo (2016) aponta para a grande dificuldade enfrentada no Brasil para a organização racional e sistemática do tratamento constitucional e legal dos servidores públicos.

A partir desses dados, é possível notar que, no caso em estudo, o entendimento do negócio é complexo e trabalhoso; uma deficiência aí poderia ser uma ameaça ao projeto. A inobservância do problema poderia levar a um cenário obscuro e a falsas conclusões, resultando no levantamento de requisitos imprecisos, e consequentemente, no desenvolvimento de um software inseguro e ineficaz. Além disso, a ausência da documentação das regras poderia ocasionar o esquecimento e a futura incompreensão da razão de ser de determinados comandos.

Considerando-se isso, percebeu-se a necessidade conferir tratamento especial às regras de negócios, por meio da documentação, tema por tema, do conjunto de normas que regem os servidores públicos, com aplicação específica na folha de pagamento. Como solução, acreditou-se que seria importante a realização de um trabalho com foco na gestão do conhecimento.

Stadtlober (2016) aponta que as informações e o conhecimento são considerados ativos, assim como os ativos patrimoniais e contábeis de uma empresa. Nesse sentido, aponta algumas premissas relativas à gestão do conhecimento nos serviços de TI, entre as quais as seguintes:

- cada tipo de demanda requer conhecimento específico;
- o conhecimento se faz necessário para entender o que o usuário deseja ou necessita;
- o conhecimento necessário muda praticamente a cada dia, pois novos produtos são lançados, modificados ou atualizados;
- o conhecimento se faz necessário para conseguir saber como buscar a solução com senso crítico, para filtrar as soluções aplicáveis ou viáveis.

Moreno & Santos (2012) defendem que a integração da gestão do conhecimento com os processos de negócio visa à proteção, ao desenvolvimento e ao aproveitamento dos ativos intangíveis de uma organização, estimulando a criação de produtos e serviços mais ajustados às necessidades dos clientes.

É nesse sentido o presente estudo, uma vez que se pretende demonstrar a importância do levantamento e da documentação das regras do negócio, utilizando-se a gestão do conhecimento, para que se atinja o objetivo final de desenvolvimento de um software de folha de pagamento que atenda às necessidades e supere a expectativa do usuário.

2. Estado da arte

2.1. Área de impressão

Regras de negócio são as diretrizes que devem ser observadas no desenvolvimento de um sistema. Ventura (2016) esclarece que regra de negócio se refere a premissas ou restrições de negócio que o sistema deverá atender, regras que poderão ou não estar associadas a um Requisito Funcional, mas que sempre serão realizadas por uma ou mais funcionalidades do sistema. Enfatiza que, nos tempos atuais, é difícil encontrar alguém que entende regra de negócio como algo isolado do software.

Rosca *et al.* (1997) esclarecem que as regras de negócio definem os requisitos computacionais que determinam o modo como um negócio é executado.

Para Mello (2012), regra de negócio é uma declaração que define ou restringe algum aspecto do negócio, destinando-se a controlar ou influenciar seu comportamento. Descrevem as operações, definições e restrições que se aplicam a uma organização, traduzidas em sistemas de computação, para ajudar a organização a atingir seus objetivos. Fornece orientações detalhadas sobre como uma estratégia pode ser traduzida em ação.

Dallavalle & Cazarini (2000) concluem que as regras do negócio ajudam a integrar a dinâmica da organização aos sistemas de informação, trazendo uma grande vantagem competitiva, que deve se refletir na adaptação do software à dinâmica do ambiente.

2.2. Requisitos

Por sua vez, requisitos identificam um atributo, uma capacidade, uma característica ou uma qualidade que um sistema deve exibir para, assim, ter valor para os usuários e clientes; no contexto do desenvolvimento de sistemas (ainda em projeto) devem manifestar quando estiverem desenvolvidos, conforme lecionam Fernandes & Machado (2018).

Zanlorenzi & Burnett (2003) ressaltam que o conhecimento dos requisitos requer um esforço contínuo no refinamento progressivo das exigências contidas nas regras de negócio das organizações e em atendimento às vontades e ao querer dos *stakeholders*, durante todo o ciclo de vida do software.

Para Nagano & Almeida Júnior (2013), o primeiro, e um dos mais importantes passos para o desenvolvimento de um software é a realização da análise, que engloba, entre

outras coisas, o processo de levantamento de requisitos, que permitirá definir quais são as possibilidades de resolvê-los através do software que será desenvolvido. Tendo os requisitos definidos, é possível modelar o sistema.

Kerr (2015) explica que a engenharia de requisitos é cada vez mais valorizada no processo de produção de softwares, de análise de negócios e de gestão por processos; sua importância é cada vez mais reconhecida para o cumprimento de prazos e orçamentos e para a segurança de entregar um sistema de acordo com o desejado pelo cliente.

2.3. Gestão do conhecimento

Gestão do conhecimento é um conjunto de estratégias para criar, adquirir, compartilhar e utilizar ativos de conhecimento, bem como estabelecer fluxos que garantam a informação necessária no tempo e formato adequados, para auxiliar a geração de ideias, a solução de problemas e a tomada de decisão, conforme define Machado Neto (1998) *apud* Valentim (2002).

Vieira (2016) leciona que o conhecimento é algo intangível, próprio do indivíduo, que carrega consigo o aprendizado e o aperfeiçoamento de vivência pessoal e profissional, peculiar de cada pessoa, portanto, difícil de ser identificado ou explicado. Por tais razões, transformar o conhecimento tácito em explícito é um grande desafio para as organizações, que por sua vez, para se manter competitivas, precisam, cada vez mais, desenvolver, adquirir, organizar e disseminar o conhecimento.

A gestão do conhecimento é fator primordial nas organizações. Para evitar que o conhecimento seja perdido, ele deve ser documentado de alguma forma, e, posteriormente, compartilhado. Bubenko (2001) indica quatro etapas para a construção do conhecimento:

- a. captura e criação de conhecimento;
- b. armazenamento de conhecimento;
- c. partilha e aplicação de conhecimento;
- d. transformação e inovação do conhecimento.

2.4. Gestão do conhecimento aplicada às regras de negócio e ao levantamento de requisitos

De acordo com Alvarenga (2007), nas abordagens atualmente existentes, as regras se transformam em um código fonte de programas computacionais e/ou em esquemas de banco de dados, sem que haja um tratamento prévio que expresse a regra de negócio em uma declaração independente de implementação específica.

Dallavalle & Cazarini (2000) indicam as regras de negócio como *baseline* de requisitos, com utilização de linguagem natural acessível aos usuários. Ressaltam que ignorar as regras de negócio leva a importantes implicações em termos de custo, qualidade, tempo e satisfação do usuário. Concluem sua análise apontando que a identificação e a avaliação das regras de negócio são pré-requisitos essenciais para o sucesso de um projeto de desenvolvimento de sistemas organizacionais, usando-se a tecnologia da informação, que, em conjunto com os requisitos do negócio, podem resolver o vazio existente entre Negócios e TI.

Segundo Campos *et al* (2016), o levantamento de dados, que possibilita o registro de conhecimento tácito da gestão do conhecimento, também pode ser utilizado como ferramenta de levantamento de requisitos, para a construção de um sistema de informação.

2.5. Metodologia EKD

Pádua (2001) apresenta diferentes abordagens de regras de negócio, demonstrando que as organizações precisam ter um claro entendimento destas para serem flexíveis em um ambiente de crescente competitividade; e conclui que a razão do sucesso não está apenas no modelo organizacional, mas também no gerenciamento apropriado do processo de negócios e da engenharia de requisitos. Para tanto, indica a utilização da abordagem EKD (*Enterprise Knowledge Development*, em português, Desenvolvimento do Conhecimento Empresarial), apontando-a como modelos conceituais que examinam a organização e seus requisitos, a partir de um número de perspectivas inter-relacionadas, cuja vantagem se observa na facilidade do uso. Enfatiza que um fator importante no EKD é que foi única abordagem, entre as encontradas na literatura, a tratar explicitamente o Modelo de Regras e Negócio e suas ligações com outros modelos. Nesse sentido, ressalta que são as regras de negócio que determinam os estados permissíveis dos objetos do negócio e a interação entre tarefas diferentes.

Ainda de acordo com Pádua (2001), o EKD tem por objetivo a obtenção de um melhor entendimento, para resolver problemas e desenvolver o conhecimento da organização.

Bubenko Jr., Persson & Stirna (2001) destacam que um dos principais objetivos da abordagem EKD é apoiar atividades de gestão de conhecimento de uma organização. Para eles, as pessoas e seus conhecimentos estão entre as principais forças para o processo de evolução do ambiente de negócios; e esse conhecimento deve ser usado da maneira mais eficiente, pois na essência, é sua vantagem competitiva. Por esse motivo é importante a gestão da experiência, da competência e do conhecimento no processo de negócios.

A fase de captura do conhecimento deve ser aberta, participativa e colaborativa. Nela se insere a metodologia EKD, que se destaca por ser de fácil compreensão e favorecer a criação de um ambiente útil à inovação e à mudança (PRAJOGO; AHMED, 2006 *apud* ARAUJO; MUSETTI; ARAUJO, 2016).

Para Ganga, Silva & Junqueira (2004), a metodologia EKD contribui no sentido de entender, analisar, melhorar e dar manutenção em algum sistema no âmbito organizacional; por meio dela, a organização é visualizada por diferentes perspectivas integradas com um objetivo único, ou seja, processos de negócios orientados ao cliente, declarados através de objetivos centrais e estratégicos, que norteiam todos os modelos.

Pádua (2001 *apud* BUBENKO JR.; PERSSON; STIRNA, 2001) aponta que o conteúdo básico da estrutura EKD inclui: um conjunto de técnicas de descrição, a participação do usuário e um conjunto de diretrizes para o trabalho.

3. Proposta

Diante dos problemas destacados no início deste trabalho, concluiu-se pela necessidade de conferir tratamento especial às regras do negócio.

A abordagem ora apresentada propõe o oferecimento de especial atenção às regras de negócio oriundas da legislação com impacto do desenvolvimento de softwares, cujo foco é a gestão do conhecimento, com objetivo de facilitar e atribuir maior confiança à etapa de levantamento dos requisitos necessários e, consequentemente, ao desenvolvimento do sistema de folha de pagamento, com segurança e efetividade.

A proposta deste artigo consiste na utilização da gestão do conhecimento, especificamente a metodologia EKD, para registrar, organizar e disseminar as regras de negócio especificadas a partir da legislação aplicável ao caso, para que, a partir disso, sejam levantados requisitos precisos e, consequentemente, seja desenvolvido um software seguro e eficaz.

3.1. Foco em legislação

Diante do problema de falta de definição e clareza das regras do negócio, e consequente dificuldade no levantamento dos requisitos de sistema, faz-se necessário trabalhar com o conhecimento e a experiência de pessoas que entendam do negócio. Para esse processo, recomenda-se considerar a lição de Carvalho (2012), no sentido de que pessoas são essenciais, por sua capacidade de pensar, aprender e interagir; por serem capazes de criar, adquirir, transformar e compartilhar conhecimentos. Conforme destaca o autor, cada recurso humano é um capital humano único para a organização, uma vez que sua contribuição ao conjunto corporativo depende de seu conhecimento.

A solução proposta é a formação de uma equipe específica de regras de negócio, formada por especialistas no negócio, para atuar no projeto de desenvolvimento de software junto aos especialistas em TI. Esta equipe deve ser formada por pessoas com conhecimento e experiência na área, e deve ter como função a pesquisa, estudo, catalogação e disseminação de todas as regras, oriundas da legislação, aplicáveis ao negócio, e, a partir disso, auxiliar no levantamento, registro e validação dos requisitos de sistema.

A participação do usuário também é importante na gestão das regras de negócio. Assim, propõe-se, também, a criação de um grupo de trabalho composto por pessoas da organização, para: (a) auxiliar no apontamento de critérios não identificados pela equipe de regras de negócio, (b) esclarecer dúvidas quanto à operacionalização e parametrização das regras, (c) validar as regras levantadas, entre outras atividades.

3.2. Gestão do Conhecimento

Considerando-se a quantidade de normas relacionadas ao negócio, é conveniente a aplicação da gestão do conhecimento, com vistas à captura, à criação, ao armazenamento, à partilha, à aplicação, à transformação e à inovação do conhecimento (BUBENKO JR.; PERSSON; STIRNA, 2001).

Para o trabalho da equipe de regras de negócio, entende-se adequada a adoção da metodologia EKD, que se trata de uma “forma sistemática e controlada de analisar, entender, desenvolver e documentar uma organização e seus componentes, utilizando a modelagem organizacional” (ROLLAND *et al*, 2000, *apud* SOLER, 2007).

A abordagem envolve os seguintes processos, conforme indicado por Pádua (2000), ao propor a ênfase nas regras de negócio por meio da adoção da metodologia EKD:

1. Diagnóstico (modelagem da situação corrente e dos requisitos de mudança);
2. Entendimento (interpretação, entendimento, racionalização, deliberação e discussão do estado corrente e futuro da empresa);
3. Projeto (discussão e modelagem das situações alternativas futuras e os cenários).

Diagnóstico

No processo Diagnóstico, deve-se definir junto aos *stakeholders* quais temas devem compor o escopo do projeto – seu *backlog* -, bem como sua ordem e prioridade.

Entendimento

Em seguida, no processo Entendimento, ocorre a etapa de detalhamento das regras do negócio, para desenvolvimento do escopo definido na fase de diagnóstico. Primeiro, deve ser feita pesquisa e leitura de todo o material relativo a cada tema; em seguida, o usuário deve ser contatado, para esclarecer dúvidas surgidas.

Importante destacar que a delimitação dessas regras do negócio deve considerar critérios externos (legislação geral) e internos (regras definidas pelo usuário e normativos internos relativos aos temas estudados).

O resultado é o Estudo Consolidado da Legislação e das Regras de Negócio (ECL), com toda a base normativa a respeito do assunto.

Projeto

Como resultado da etapa de entendimento, é materializado o ECL. Ele nasce a partir da pesquisa da legislação e dos diversos documentos emitidos por órgãos centrais de legislação e de administração pública acerca da área de negócio abordada. A equipe deve redigir o referido documento com base no conhecimento e na experiência pré-existentes, na pesquisa realizada, bem como nas orientações, nas demandas e na experiência do usuário.

O ECL deve ser encaminhado para a equipe de requisitos, composta por profissionais de TI. Esta equipe, por sua vez, deve estudar e analisar as regras elencadas, para conhecer e entender o negócio, visando, com isso, adquirir os subsídios necessários para levantar os requisitos de desenvolvimento do sistema.

O modelo resultante deve estar disponível para os tomadores de decisão atuarem sobre estratégias futuras, táticas e objetivos da empresa, como destaca Pádua (2001). Nesse sentido, propõe-se que o ECL, pronto e validado, fique disponível para todo o público da organização, a fim de conferir publicidade e de disseminar o conhecimento.

4. Testes e Resultados

A metodologia proposta na Seção 3 foi testada e aplicada no projeto de desenvolvimento de software de folha de pagamento de uma organização da administração pública federal brasileira

Inicialmente, para a equipe de regras de negócio, houve a tentativa de formar um grupo composto pelos usuários do software de folha de pagamento a ser desenvolvido, com

agentes diretamente envolvidos no negócio. Porém, esse formato se mostrou inviável, uma vez que a organização não tinha condição de dispensar pessoas das atividades para as quais foram contratadas (diretamente com o negócio), para atuar exclusivamente no projeto de desenvolvimento do software.

Para resolver o problema, foi formada uma equipe composta por pessoas de fora da instituição onde o software seria desenvolvido, mas com conhecimento e experiência diretamente relacionados ao negócio, no serviço público brasileiro, e com disponibilidade para oferecer um tempo exclusivo ao projeto.

Inicialmente, foram recrutadas pessoas com experiência no serviço público, especificamente na área de legislação de pessoal e em folha de pagamento. Assim, foi formada a equipe de regras de negócio, composta por 4 pesquisadores: 2 especialistas em legislação de pessoal, 1 especialista em folha de pagamento e 1 responsável por dar suporte a todo o processo.

O objetivo da equipe foi, por meio da gestão do conhecimento, entender o funcionamento da organização e os reflexos na folha de pagamento. Para isso, foi realizado um trabalho de levantamento, catalogação e disseminação das regras de negócio, especificamente, da normatização relativa aos diversos temas que envolvem a folha de pagamento dos servidores públicos do órgão.

O trabalho da equipe de regras de negócio consistiu na utilização da metodologia EKD, com o objetivo de obter um melhor entendimento para a resolução de problemas e para o desenvolvimento de conhecimento da organização.

O trabalho contou com a utilização de técnicas de descrição das regras, com a participação dos *stakeholders* e com o levantamento de um conjunto de diretrizes para o trabalho. Foram utilizados os 3 processos da metodologia: diagnóstico, entendimento e projeto das regras para o desenvolvimento do sistema de folha de pagamento, conforme descrito a seguir.

4.1. Diagnóstico

Em primeiro lugar, foi definido, junto ao usuário, a partir das demandas do sistema, quais os temas necessitariam de estudo, bem como a ordem de prioridade.

Foram definidos os seguintes temas e ordem de prioridade:

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Subsídios e vencimentos; • Férias; • Funções de confiança e cargos em comissão; • Auxílios e adicionais; • Gratificações; | <ul style="list-style-type: none"> • Indenizações; • Abono de Permanência; • Plano de Seguridade Social/INSS; • Consignações; • Funpresp; • Pensão alimentícia; | <ul style="list-style-type: none"> • Plano de saúde; • Provisionamentos; • Abate-teto; • Imposto de Renda; • Devoluções e acertos; • Pensão civil; • Proventos. |
|---|---|--|

Percebeu-se que esta fase não é estática, pois não ocorreu em apenas um momento. Essa ordem de prioridade foi diversas vezes reclassificada, seja porque o órgão, no curso do projeto, incluiu alguns temas como prioritários – como o de consignações, que seria um dos últimos no ordenamento original –, seja porque, durante a fase de pesquisa, entendeu-se necessário o estudo prévio de determinados temas para a compreensão de outros.

4.2. Entendimento

Na etapa de entendimento, foram estudados cada um dos temas definidos na fase de diagnóstico. Essa etapa consistiu (a) na pesquisa da legislação geral e interna, dos diversos documentos emitidos pelo Órgão Central do SIPEC acerca dos servidores do Poder Executivo Federal, (b) bem como em entrevistas junto aos usuários sobre os processos de trabalho e sobre o funcionamento dos sistemas já existentes.

Não foram encontradas dificuldades no momento da pesquisa dos normativos gerais. No entanto, em relação aos normativos internos, por vezes, foram apresentados alguns entraves, como o difícil acesso a alguns documentos, em razão do grau de restrição ou sigilosidade. Por outro lado, a experiência e o conhecimento prévio da equipe de regras de negócio foram pontos fortes para o entendimento do negócio.

Na organização em que se aplicou o método, foi criado um grupo de trabalho composto por servidores do órgão, para atuar no projeto de desenvolvimento do software de folha de pagamento e auxiliar a equipe de negócio. Esse grupo trouxe bastante contribuição à equipe de negócio, fase de entendimento, esclarecendo dúvidas e intermediando as entrevistas com os servidores diretamente envolvidos nos respectivos processos de trabalho.

4.3. Projeto

Entendido o negócio, foi elaborado um ECL para cada tema. Cada um, ao ser concluído, foi encaminhado ao grupo de trabalho da organização, que poderia sugerir alterações, acréscimos, ou apenas concordar com o documento apresentado.

De modo geral, o grupo de trabalho concordou com todos os documentos entregues – recorde-se que o entendimento do negócio, base para elaboração do ECL, já havia contado com a participação do usuário.

Passo seguinte, o ECL foi encaminhado à equipe de requisitos, que o utilizou como base para o levantamento dos requisitos necessários ao desenvolvimento do software de folha de pagamento. Além do documento escrito, a equipe de requisitos contou com a disponibilidade do conhecimento da equipe de negócio, que era consultada diante da ocorrência de dúvidas na fase de levantamento dos requisitos.

Nessa fase, foi alcançado o objetivo de catalogação das regras, cujo objetivo imediato era o entendimento do negócio pelos analistas de requisitos. Outro reflexo positivo e não previsto inicialmente, foi a adoção de melhores práticas pelos usuários após o conhecimento adquirido e documentado pela equipe de negócio.

5. Conclusão

A literatura tem demonstrado que o fracasso no desenvolvimento de sistemas de TI tem tido como principais causas problemas na especificação e no levantamento dos requisitos, daí a importância de se conferir especial atenção às regras de negócio. Esse problema se torna mais evidente quando o projeto se trata de desenvolvimento de software de folha de pagamento de servidores públicos, cujas regras são definidas em diversas fontes externas como, por exemplo, por legislação e normativos.

Para a resolução do problema, a proposta do presente trabalho consistiu na utilização da gestão do conhecimento, por meio da metodologia EKD, para a melhor gestão das regras do negócio, com vistas ao levantamento de requisitos precisos e, conseqüentemente, no desenvolvimento de um sistema confiável, que efetivamente atenda às necessidades dos *stakeholders*.

A aplicação da proposta se deu em projeto de desenvolvimento de software de folha de pagamento de um órgão da Administração Pública. O estudo da legislação de pessoal aplicada à folha de pagamento de servidores públicos mostrou-se necessário para a melhor definição das regras do negócio que auxiliariam no levantamento de requisitos para a prototipação de software de folha de pagamento de servidores públicos. Assim, foi destacada uma equipe para trabalhar na pesquisa, estudo, catalogação e disseminação das regras de negócio.

Os resultados alcançados neste estudo confirmaram a importância de uma eficiente gestão das regras do negócio, por meio da gestão do conhecimento, para o sucesso do desenvolvimento do software. Ter as regras de negócio elencadas, bem como ter à disposição o conhecimento da equipe que realizou o estudo, foi primordial para os profissionais de TI que levantaram os requisitos e, conseqüentemente, para os desenvolvedores do sistema. Além disso, contribuiu para o usuário a validar e até a rever regras aplicadas aos processos de trabalho.

Embora o presente estudo de caso tenha se restringido a um projeto de desenvolvimento de software de folha de pagamento no serviço público brasileiro, a partir dos resultados alcançados, concluímos ser possível a utilização da metodologia apresentada em diversos outros contextos. Utilizando-se os preceitos de gestão do conhecimento no gerenciamento de regras de negócio, seria possível alcançar bons resultados no desenvolvimento de diversos softwares de organizações públicas ou privadas de qualquer país.

Para trabalhos futuros, sugere-se a experimentação de outras metodologias diversas da EKD, sempre com foco na gestão do conhecimento como aliada à gestão das regras de negócio. Outro aspecto que pode ser explorado é a utilização de ferramentas de colaboração como meio de promover a disseminação do conhecimento agregado pelos especialistas do negócio envolvidos no projeto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio das Agências brasileiras de pesquisa, desenvolvimento e inovação CNPq (Projeto INCT SegCiber 465741/2014-2), CAPES (Projetos FORTE

23038.007604/2014-69 e PROBRAL 88887.144009/2017-00) e FAPDF (Projetos UIoT 0193.001366/2016 e SSDDC 0193.001365/2016), bem como o suporte do Laboratório LATITUDE/UnB (Projeto SDN 23106. 099441/2016-43), e as cooperações com o Ministério da Economia (TEDs DIPLA 005/2016 e ENAP 083/2016) e o Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (TED 002/2017).

Referências

- Alvarenga, G. G. (2007). *Uma Abordagem para Tratamento de Regras de Negócio em Sistemas de Informação*. Mestrado — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
- Araujo, A. C. de; Musetti, M. A.; Araujo, E. A. (2016). Modelo de Objetivos e regras da metodologia EKD: Utilização no processo de compras de hospital de ensino público. In: ABEPRO. *Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep*. João Pessoa, PB, Brasil. (Contribuições da Engenharia de Produção para melhores práticas de gestão e modernização do Brasil). ISSN 2594-9713.
- Araújo, F. D. de. (2007). Os regimes jurídicos dos servidores públicos no Brasil e suas vicissitudes históricas. *Revista da Faculdade de Direito da UFMG*, Belo Horizonte, MG, Brasil, n. 50, p. 143–169, Julho 2007. ISSN 1984-1841.
- Bubenko Jr., J.; Persson, A.; Stirna, J. (2001). *User guide of the Knowledge Management approach using Enterprise Knowledge Patterns*. Estocolmo, Suécia. 52 p.
- Campos, P. V. et al. (2016). Gestão do Conhecimento como Ferramenta de Mapeamento de Processo e Modernização Institucional. In: *IX Congresso CONSAD de Gestão Pública*. Brasília, DF, Brasil: CONSAD.
- Carvalho, F. C. A. (Org.). *Gestão do Conhecimento*. 1. ed. São Paulo, SP, Brazil: Pearson, 2012. ISBN 978-85-760-5885-4.
- Dallavalle, S. I., & Cazarini, E. W. (2000). Regras do Negócio, um fator chave de sucesso no processo de desenvolvimento de Sistemas de Informação. *São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos*, área: Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo.
- Espindola, R. S. de; Majdenbaum, A.; Audy, J. L. N. (2004). Uma Análise Crítica dos Desafios para Engenharia de Requisitos em Manutenção de Software. In: *Anais do Workshop em Engenharia de Requisitos (WER)*. Tandil, Argentina: [s.n.]. p. 226–238. ISBN 950-658-147-9.
- Fernandes, J. M.; Machado, R. J., (2017). *Requisitos em Projetos de Software em Sistemas de Informação* (1ª ed.). São Paulo/SP. Editora Novatec.
- Ganga, G. M. D, Silva, A. L., e Junqueira, R. P. (2004). Modelo de objetivos e regras de negócio da abordagem ekd: estudo de caso em clínica odontológica. *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Florianópolis/SC.
- Kerr, E. S. (Ed.) (2015). *Gerenciamento de Requisitos*. 1. ed. São Paulo, SP, Brazil: Pearson Education do Brasil. ISBN 978-85-430-1006-9.

- Leite, J. C. S. Do P. (1998). Leonardi, M. C. Business rules as organizational policies. In: IEEE. *Proceedings Ninth International Workshop on Software Specification and Design*. Ise-Shima, Japão. p. 68–76.
- Madeira, J. M. P.; Mello, C. De M. (2014). *Lei 8.112/90 Comentada e Interpretada: Regime Jurídico Único do Servidor Público Federal*. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Freitas Bastos. 926 p. ISBN 978-85-798-7179-5.
- Mello, P. O. S. (2012). *Gestão de regras de negócio*. Acesso em 22 julho 2019. Disponível em: <<https://bpmquotes.wordpress.com/2012/01/21/24-gestao-de-regras-de-negocio/>>.
- Moreno, V.; Santos, L. H. A. dos (2012). Gestão do conhecimento e redesenho de processos de negócio: proposta de uma metodologia integrada. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, MG, Brasil, v. 17, n. 1, p. 203–230.
- Nagano, C.; Almeida Júnior, N. M. de (2013). *Sistema para gerenciamento de restaurantes de pequeno porte*. 61 p. Graduação — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil.
- Pádua, S. I. D. de (2001). *Investigação do processo de desenvolvimento de software a partir da modelagem organizacional, enfatizando regras do negócio*. Mestrado — Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Rosca, D. Greenspan, S., Feblowitz, M. & Wild, C. (1997). *A decision making methodology in support of the business rules lifecycle*. In: IEEE. *Proceedings of ISRE '97: 3rd IEEE International Symposium on Requirements Engineering*. Annapolis, MD, USA. p. 236–246.
- Soler, F. V. M., (2007). Modelo EKD na implementação de Sistemas ERP: Análise de viabilidade de uso. In: 5ª Mostra Acadêmica UNIMEP. Piracicaba/SP. (Educação Brasileira: Extinção ou Sustentabilidade na Universidade).
- Sommerville, I. (2007). *Engenharia de Software*. eighth. São Paulo, SP, Brasil: Pearson Addison-Wesley. ISBN 978-85-88639-28-7.
- Statdlober, J. (2016). *Gestão do Conhecimento em Serviços de TI: Guia Prático*. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Brasport. ISBN 978-85-7452-763-5.
- Valentim, M. L. P. (2002). *Inteligência Competitiva em Organizações: dado, informação e conhecimento*. DataGramaZero - Revista de Ciência da Informação. V.3, n. 4.
- Ventura, P. (2016). *Requisitos de Software*. Belo Horizonte, MG, Brasil: Indtech. Disponível em: <<https://www.indtech.com.br/eBookRequisitosSoftwarePlinioVentura.pdf>>.
- Vieira, R. (2016). *Gestão do Conhecimento: Introdução e Áreas Afins*. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Interciência. ISBN 978-85-7193-380-4.
- Zanlorenci, E. P.; Burnett, R. C. (2004). Abordagem da Engenharia de Requisitos para Software Legado. In: *Anais do Workshop em Engenharia de Requisitos (WER)*. Piracicaba, SP, Brasil: [s.n.]. p. 270–284.

Utilizando robótica para permitir a experiência musical de crianças surdas por meio da vibração: visão prática

Cristiano da Silva Benites¹, Ismar Frango Silveira²

benites_silva@hotmail.com, ismarfrango@gmail.com

Faculdade de Computação e Informatica, Universidade Presbiteriana Mackenzie - Rua da Consolação, 930 - Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 São Paulo, SP – Brasil.

Pages: 412–422

Resumo: Este artigo apresenta resultados de experimentos musicais realizados com crianças com deficiência auditiva utilizando um rôbo. São apresentados os desafios encontrados na inclusão de crianças com deficiência auditiva no aprendizado de música e mostra como a sociedade aceita essas pessoas. Busca conhecer como a comunidade de surdos vê a música e, finalmente, avaliar os elementos visuais e tecnológicos na educação musical infantil. Os desafios das ações apresentadas não apontam para uma teoria de maneira abrangente ou apenas estatística, mas para propor uma discussão sucinta sobre o assunto, para levar outras pessoas a refletir sobre as necessidades específicas dessas crianças.

Palabras clave: criança com deficiência auditiva, elementos visuais, aplicações tecnológicas, robótica e música.

Using robotics to enable the musical experience of deaf children through vibration: vision practice.

Abstract: This article presents results of musical experiments conducted with hearing impaired children using a robot. It presents the challenges encountered in including children with hearing impairment in music learning and shows how society accepts these people. It seeks to know how the deaf community views music and, finally, to evaluate the visual and technological elements in early childhood music education. The challenges of the actions presented do not point to a theory that is comprehensive or only statistic, but to propose a brief discussion on the subject, to lead others to reflect on the specific needs of these children.

Keywords: hearing impaired child, visual elements, technological applications, robotics and music.

1. Introdução

A relação entre surdos e música é uma questão polêmica desde o passado até os dias atuais, uma vez que a música é considerada um fenômeno do meio audível e os surdos não podem ouvir, mas podem sentir a música por causa das vibrações no próprio corpo. As pessoas que defendem a cultura dos surdos afirmam que a música é criada e compreendida para a concepção de pessoas ouvintes, como consequência não faz parte da cultura dos surdos, portanto, os surdos não podem apreciar a música como ouvintes fazem conforme cita (Glennie, 2018). O som nada mais é do que a vibração do ar, que o ouvido capta e converte em sinais elétricos que são interpretados no cérebro. No caso de vibrações com frequências muito baixas, o ouvido se torna ineficiente e o sentido tátil começa a dominar. Surdez não significa não ouvir, há simplesmente algo errado com o ouvido, porque mesmo alguém com surdez profunda pode sentir e ouvir sons (Finck, 2009), portanto, para (Glennie, 2018), o processo de ouvir está relacionado com a percepção dos sentidos e não apenas com o ouvido, por isso, se a música é uma expressão na forma de sons, como o indivíduo surdo pode perceber a música? Nesta parte, é notória a necessidade de criar propostas pedagógicas para o ensino de música a pessoas surdas. É interessante notar que os surdos sentem vibrações através da pele: esse evento ocorre nos surdos através de um local no cérebro que é o mesmo local que o ouvinte, de modo que esse local lhes dá uma percepção diferente de como entender a leitura do ritmo musical.

As ondas de vibração, transmitidas pelo ar, atingem a pele e, portanto, os músculos e os ossos os sentem, finalmente atingindo o sistema nervoso autônomo, o que permite sentir o ritmo e o volume, a intensidade e a duração do som (Haguiara-Cervellini et al., 2003). Essas percepções, quando integradas à percepção do movimento interno, podem permitir que os surdos apreciem os elementos sonoros (Benzon, 1983). O autor ainda apresenta uma relação entre o surdo e a música e propõe a substituição de seu sistema auditivo por recursos táteis, o que permitiria ao surdo conhecer o som ao redor.

Analisando estudos que utilizam perspectivas de vibração sonora, observa-se que eles não são percebidos apenas pelos aparelhos auditivos, assim podemos citar estudos clássicos como (Madsen, Mears et al., 1965), onde mediram a sensibilidade tátil de pessoas com deficiência auditiva e obtiveram resultados satisfatórios. Um ano antes, (Gescheider, 1964) demonstrou com que precisão a pele pode identificar vibrações sonoras, com base nisso, (Montagu, 1988) afirmou que, em termos de som, a pele é o sistema mais importante do corpo humano, uma pessoa pode viver surdo, cego e completamente desprovido de cheiro e sabor, mas não pode viver sem as funções desempenhadas pela pele. O autor também menciona as experiências de surdos e cegos que, quando estimulados, demonstraram compensações por essas deficiências, em um grau extraordinário por meio da pele.

No que diz respeito à sensibilidade das crianças com surdez à música (Haguiara-Cervellini, 2003) mostrou que elas tentam percebê-la usando todo o corpo para sentir as vibrações que podem ser do chão, das paredes e também dos instrumentos musicais, assim os surdos geralmente preferem instrumentos de percussão, que produzem fortes vibrações e são mais facilmente percebidos. Nesse sentido, o surdo deve ter todas as possibilidades da experiência musical para desenvolver sua sensibilidade à música.

2. Surdos em contato com a música

Para muitos acadêmicos, a relação entre música e deficiência auditiva é considerado um tema contraditório, de acordo com (Mahler, 2016), geralmente se supõe que músicos e compositores têm “audição perfeita”, então o autor gera um argumento cuja suposição leva os acadêmicos a imaginarem a surdez como a antítese mais profunda do ambiente musical, o que os leva a considerarem um surdo como incapaz de ouvir música. Isso acaba promovendo a distância entre essas pessoas surdas e a música e, conseqüentemente, distanciando-as dos benefícios que a música pode promover para o indivíduo, esse tipo de concepção geralmente é baseado em uma visão limitada da música.

A música envolve vários elementos que vão muito além do som: a experiência musical é limitada apenas no sentido da audição, o autor também relata que o tema principal desse tipo de atitude a considerar é o relato de pessoas interessadas em Música, incluindo músicos amadores. e também os profissionais. Para ajudá-lo a entender melhor, podemos lembrar o músico Bob Hiltermann citado por (Jones, 2016), onde ele relata que pessoas surdas, gostam de música, e essas pessoas ajudam a construir novas visões sobre música e música .

Os relatos de surdos interessados em música nos permitem refletir sobre sua relação com a música e aprender sobre as diferentes formas de experiência no contexto musical a partir de suas práticas (Mahler, 2016). O autor ainda nos desafia a pensar sobre a música que vai além de nossos ouvidos e a imaginar maneiras alternativas que a música nos permite ter, a viver a experiência que uma pessoa surda tem e, assim, demonstrar que os músicos surdos interagem com os sons da música. sensação de vibração e uso de imagens. A maneira de fazer música e sentir-se surdo é o uso da expressão que permite que as pessoas conheçam sua realidade, mesmo sendo uma minoria cultural dentro de um mundo de grande audição, permitindo compartilhar histórias e diferenças de linguagem.

O primeiro registro de educação musical para uma pessoa surda foi citado por (Darrow, Haller et al., 1985), onde uma jovem surda queria aprender piano. O artigo citado relacionou a experiência do ensino musical a Augusta Avery de Syracuse. Assim, ele percebeu que a música pode ser ensinada aos surdos para que eles possam ter uma idéia do ritmo musical, da qualidade da expressão e da relação dos tons, formando o uso da visão e do toque, o autor ainda citou o caso do pianista que impressionou ouvintes com seu domínio do piano e também enfatizou que a vontade e o interesse inicial de aprender a tocar piano.

Hoje a educação musical evoluiu no campo da inclusão do surdo, experiências que valorizam situações nas quais envolvem sensações vibratórias, expressão corporal e a relação entre som e imagem, experiências que facilitam o uso de ferramentas tecnológicas.

3. Metodologia

Selecionamos um grupo de 7 crianças de 5 a 10 anos para fazer um experimento musical usando robótica e software. Entre essas crianças, 6 têm problemas auditivos e precisam de intérpretes para ajudá-las. Durante todo o processo, houve consentimento de seus responsáveis que acompanharam as crianças durante os 3 momentos que nos reunimos.

As três etapas dos experimentos foram realizadas em uma sala de uma organização religiosa, para não perturbar os lares das famílias e evitar impactos em diferentes ambientes dos experimentos. Para obter opiniões e resultados durante os testes práticos, usamos um questionário modelo para as avaliações realizadas pelos conselheiros das crianças, onde cada um deles avaliava a criança durante as atividades.

Para as crianças surdas apresentamos os fundamentos da música, como notas musicais combinadas com cores, ritmos e tempos musicais representadas pelo movimento de um robô. Deixando a maneira tradicional como você pode usar o livro, o quadro ou qualquer outro meio que não seja o uso da tecnologia.

Na figura 1, apresentamos a situação da comunicação de cada uma das 7 crianças que participaram dos experimentos, para conhecer as circunstâncias envolvidas, portanto, inserimos o que os responsáveis pelas nos informaram, onde o símbolo “✓” Indica positivo e “-” indica negativo e o que foi comprovado durante os experimentos.

SITUAÇÃO DE COMUNICAÇÃO DE CADA CRIANÇA					
PARTICIPANTES	LEITURA	LIBRAS	GRAU DE SURDEZ		
			MODERADA	SEVERA	PROFUNDA
CRIANÇA 1	✓	-	-	-	-
CRIANÇA 2	-	-	-	-	✓
CRIANÇA 3	✓	-	-	-	✓
CRIANÇA 4	-	-	-	-	✓
CRIANÇA 5	-	-	-	-	✓
CRIANÇA 6	-	-	-	-	✓
CRIANÇA 7	✓	✓	-	-	✓
CRIANÇA 8	✓	✓	-	-	✓

Figura 1 – Situação de comunicação de cada criança.

Durante os experimentos utilizamos o software Scratch, em uma versão adaptada pelo Makeblock, para controlar o robô e seus recursos através de um iPad onde as crianças farão combinações no aplicativo para enviar comandos ao robô, executando conceitos musicais predefinidos no aplicativo, eles terão que imitar os movimentos do robô durante cada etapa, em seguida, vamos usar um pequeno jogo no aplicativo integrado ao robô. À medida que a criança entender o jogo e passar a fase, iremos aumentando a dificuldade do jogo, praticando o básico de formas diferentes.



Figura 2 – Notas musicais e cores propostas no software..

Antes de iniciar qualquer atividade com o robô e as crianças, ensinaremos a eles o conceito do projeto para que elas possam entender o que cada elemento significa durante a prática do jogo, já que nenhuma das crianças tem conhecimento musical. Assim, mostraremos as cores das notas musicais como uma teoria proposta nesta atividade, como mostra a Figura 2.

Assim que cada criança souber qual cor pertence à nota musical, será solicitado que indique no iPad qual nota o robô executa, e a criança poderá apontar o dedo na tela do dispositivo. Para isso, o programa Editom foi utilizado no projeto, para que fosse possível usar a pauta e colorir as notas musicais de acordo com a necessidade do experimento. O software Editom foi criado para ensinar música para iniciantes, representando graficamente como escrever e ouvir os sons das notas. No experimento, o Editom será usado apenas para a representação visual de crianças surdas.

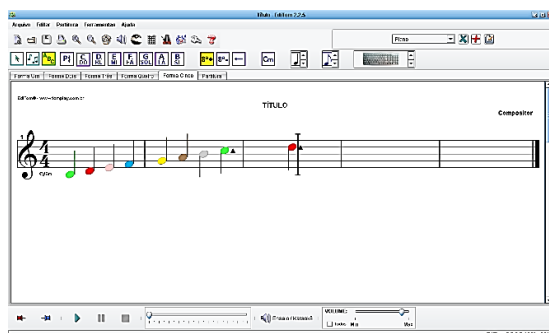


Figura 3 – Pentagrama Editom como notas musicais coloridas.

Depois que as crianças tiverem a base do que cada cor na pauta significa, passaremos para a segunda parte da teoria que diz respeito ao tempo rítmico, pode-se usar no aplicativo os tempos já definidos, para que a criança selecione apenas o movimento que você deseja para o robô. Na figura 4 você pode ver como a tela fica onde a criança usará essa função.



Figura 4 – Divisão dos tempos musicais.

Com o conhecimento do conteúdo conceitual, começaremos a praticar cores com o robô. Na Figura 5, temos um exemplo de como o processo inicial de design de contato do robô será executado, cada nota musical tocada no piano digital no iPad terá uma cor no robô, o LED colorido será combinado com um movimento, assim a criança entenderá que cor pertence a qual nota musical e seu ritmo rítmico na prática, de acordo com a escolha rítmica. Quando a criança clica na tecla vermelha, como mostra a figura 5, o robô acende a luz vermelha, para que a criança saiba que pressionou a tecla C no teclado virtual. O robô, além de acender a luz vermelha, vibrará para que a criança sinta que houve alguma ação no robô quando ele fez um comando no iPad.



Figura 5 – Nota musical Dó executada no IPAD.

Para que o robô execute e reconheça comandos enviados pelo iPad, foi necessário compilar o código dentro do Arduino do robô, usamos a linguagem de programação mBlock no modo Python, que é uma linguagem de programação compatível com o aplicativo. Com o uso de jogos, será possível saber qual foi a abstração dos conceitos que as crianças adquiriram com o experimento.

Para facilitar a utilização da proposta prática, será criado um plano de orientação para os experimentos: nesse caso, haverá três planos, um para cada domingo de atividades. Nos três usaremos o robô e somente no último experimento teremos uma mudança, que será a inserção do piano de cauda e uma pulseira vibratória.

Teremos intérpretes para facilitar a comunicação com crianças, pois existem crianças que não sabem ler e não conhecem a LIBRAS. Uma das crianças não será deficiente para ser um modelo para os outros.

4. Experimentos realizados em cada etapa

O contato inicial com as crianças durou aproximadamente 4 horas, para que se familiarizassem com o cenário proposto e, para que se sentissem mais à vontade, foi necessário realizar uma atividade para gerar entretenimento, pois algumas crianças estavam receosas, assim montamos o robô usado na proposta. Depois de montar o robô com as crianças, atividade que durou aproximadamente 30 minutos, começamos a atividade objetiva. Nesta primeira etapa, a criança ouvinte começou a fazer o primeiro contato com o robô e as outras crianças acompanharam o que foi feito, a outra criança deficiente auditiva realizaria a mesma atividade em seguida. A Figura 6 mostra como iniciamos a atividade realizada com as crianças observando o que era feito.



Figura 6 – Crianças participando da atividade.

As crianças surdas observaram o que o robô fazia e, depois do movimento do mesmo, as crianças deviam imitar o robô, neste caso, o movimento e, se o robô acender algum LED, as crianças devem levantar as mãos para indicar que havia feito algum movimento ou nota foi executada. Dessa forma, eles poderiam interagir entre si e ver se os movimentos foram executados corretamente ou não, o que gerou um entretenimento entre elas.

Cada criança realizou a atividade com o robô e o iPad por 20 minutos, com a ajuda do pesquisador que realizou a atividade. Quando uma criança terminava a atividade, era a vez de outra criança assumir e fazer o mesmo procedimento que a criança anterior realizou, assim cada criança viu e participou da mesma atividade sete vezes seguidas, dessa forma o contexto ficaria compreendido por cada criança.

O segundo dia de contato ocorreu no domingo seguinte, assim tínhamos o plano de lembrar as crianças das cores das notas e do ritmo das medidas tomadas no experimento inicial, mas as crianças ainda tivessem em mente toda a referência do primeiro estágio do processo, lembraram todas as cores das notas e o ritmo de cada compasso. Portanto, como não havia necessidade de lembrar o que foi feito no domingo anterior fomos diretamente ao jogo para as crianças executarem a proposta nessa segunda etapa de experimentos. Dessa vez, começamos com a criança surda mais nova, pois acreditava-se que ela tinha o conceito teórico em mente e poderia realizar a atividade musical com pouca dificuldade.

Quando a primeira criança iniciou o jogo, demorou um pouco para executar o que foi proposto e após algum tempo, o pesquisador e o intérprete deixaram a criança sozinha e ela realizou boa parte das fases do jogo sozinha, e as outras crianças deveriam imitar o robô como na primeira etapa da investigação, o que gerou muita diversão entre as crianças.

No terceiro domingo, fizemos novamente o uso do robô que já era usado desde a primeira etapa, mas, diferentemente das outras ocasiões, as crianças não comandavam o robô usando o iPad ou o controle do robô, nesse estágio, as crianças usavam o robô apenas como uma referência para saber se as notas que eles estavam pressionando na tecla do piano que usamos nesse último experimento era executada. Nas etapas anteriores, as crianças estavam interagindo com o robô e iPad para sentir vibrações e imitar seus movimentos, para ter uma ideia do que podiam sentir quando estivessem em contato com um piano real, que estava planejado para ocorrer nesta intervenção final.

Para realizar a atividade final, foi utilizado um piano de cauda Roland que estava no local dos experimentos, o modelo utilizado foi o “Gp607 Pel”, utilizado por um período de 5 horas.

Este piano possui entradas USB e P10; nesse caso, a entrada USB do piano foi fundamental nesta etapa final, usamos o USB para integrar o robô ao piano e, assim, ajudar as crianças em sua compreensão. Portanto, procuramos o paralelismo, de modo que, quando uma nota é tocada no piano, o robô gera uma cor e uma vibração no robô ao mesmo tempo, para evitar confusão para as crianças.

Como nos dois primeiros experimentos, as crianças não tiveram contato com o piano, isso poderia criar uma dificuldade e gerar confusão, então vimos que seria necessário inserir uma pulseira integrada ao robô nessa ultima etapa. Dessa forma, quando as crianças tocavam uma nota musical no piano ele vibrava porque era acústico, o robô vibrava também e acendia um LED que indicava que a nota tocada, e por fim enviava um comando a pulseira que estava integrada ao robô, gerando uma vibração no pulso das crianças com a mesma frequência do piano.

Programamos o robô com antecedência para chegar e simplesmente conectarmos no piano e obtemos uma resposta satisfatória com as notas pressionadas no piano. Conectamos a porta USB do robô ao piano, clicamos em uma nota Dó representada pela cor vermelha nos testes anteriores e, conforme esperado, o robô ficou com o LED vermelho e enviou a frequência para a pulseira que vibrou na mesma intensidade do piano.

Ao realizar a atividade final a criança ficava com a mão esquerda no piano, a mesma mão com a pulseira, também sentia a vibração do piano e a vibração da pulseira. Tudo isso aconteceu de forma sincronizada e procurou estar livre de atrasos, para não criar confusão na cabeça das crianças durante sua participação no experimento.

PIANO DE CAUDA ROLAND

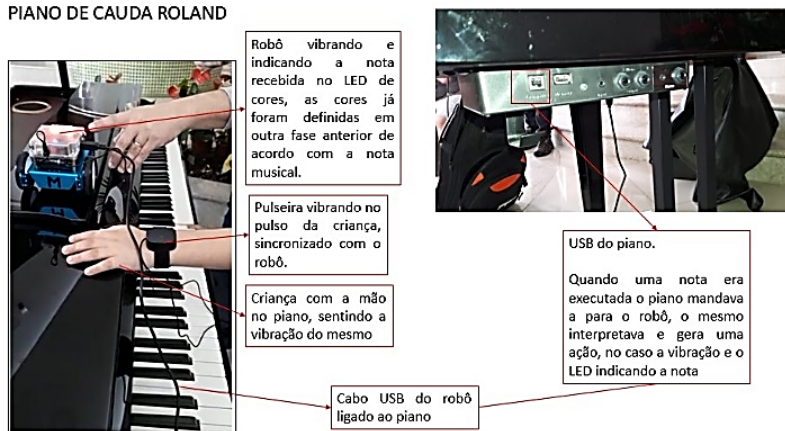


Figura 7 – Criança tocando piano com todas as funções integradas.

Ao final do terceiro experimento, todas as crianças participaram das atividades, pode-se sentir satisfação das mesmas, pois sentiram o prazer de ter o primeiro contato com a música de maneira prática, o que foi emocionante para as crianças e para todos aqueles que acompanhavam os experimentos desde o início.

5. Resultados e discussões

Como as crianças com deficiência auditiva realizavam as atividades em cada um dos três experimentos, os conselheiros avaliavam seu desempenho de acordo com as opções do questionário. Após concluir as três experiências, foi possível ter uma opinião sobre o desempenho de cada criança que participou das experiências:

- Todas as crianças foram capazes de realizar as atividades propostas usando o aplicativo através do iPad em conjunto com o robô, realizando todos os exercícios com sucesso e aproveitando a atividade que gerou muita diversão entre elas em 100% dos casos.
- Nenhuma criança recebeu treinamento específico ou separado das outras crianças para entender o conteúdo. O máximo que pudemos observar foi um pouco de lentidão para iniciar a atividade, mas com o tempo, mesmo sem ajuda, puderam fazer todo o conteúdo. Os conselheiros estimaram que cerca de 60% das crianças tiveram que pensar um pouco mais para iniciar o processo, mas isso era de se esperar, uma vez que nunca tiveram contato com as tecnologias do experimento.
- 100% das crianças acharam fácil entender as imagens para realizar a atividade e imitar o movimento do robô.
- Após esse período de atividade realizadas apenas aos domingos, as crianças não apresentaram dificuldade em lembrar o que havia sido feito 7 dias atrás na atividade anterior, 100% delas realizavam atividades praticamente semelhantes nos três experimentos.

As atividades realizadas nesta investigação indicaram que a combinação do aplicativo Scratch com um hardware, neste caso um robô, pode proporcionar aprendizado de música para crianças com deficiência auditiva. Os experimentos mostraram que o conjunto utilizado indicam potencial para atividades musicais e podem ser adaptados a outras situações de diferentes pontos de vista, para que possa ensinar outros pontos na teoria musical e crianças aprendidas a se divertir. Portanto, é essencial o uso de meios adaptativos na educação musical de crianças surdas, assim apontou-se ser necessário verificar a eficácia do aplicativo e do hardware utilizado, estudar formas de saber qual é o real impacto sobre quem participa do aprendizado, neste caso crianças com deficiência auditiva.

6. Considerações do projeto

Uma vez iniciados os experimentos musicais com as crianças, foi possível analisar que a arquitetura utilizada com a aplicação e o robô permitiam que as crianças realizassem a atividade musical, com o mesmo auxiliando na percepção dos sons que eram feitos com as medidas, vibrações e ritmos através do robô.

Depois que as crianças perceberam o som através da cor e do movimento do robô, elas puderam reproduzir e se mover de acordo com sua intensidade, quando geraram movimento e cores. Portanto, foi possível refletir sobre os benefícios que a música trazia para as crianças através de suas atitudes e os comentários dos conselheiros no momento

das atividades, e enquanto avaliava as crianças durante as atividades, apresentando o conceito prático.

Ao fazer uso da avaliação dos conselheiros, percebeu-se geralmente que eles indicaram que o uso do aplicativo Scratch com robótica pode ser uma excelente maneira de ser usado nas atividades musicais de crianças surdas. Porém, observou-se que nem todas as crianças tinham um conceito 100% bom ao sentir a vibração do robô, o que mostrou que as crianças tinham que ter um treinamento háptico um pouco mais longo para se acostumarem com a vibração. O problema encontrado com a vibração era que o robô só vibrava ao receber uma nota quando estava no chão nos experimentos iniciais, o problema dos movimentos longos às vezes dificultava o uso em uma mesa ou sobre o piano que seria ideal para vibração, mas limitaria movimentos de robô para crianças para imitá-lo. Portanto, a proposta inicial do projeto era trabalhar com as cores musicais e os tempos de medição do robô, o que limitava o planejamento da vibração e porque o robô era pequeno e possuía uma força de vibração limitada.

Assim, este trabalho destaca um estudo mais aprofundado da vibração, juntamente com o ensino da música para crianças surdas, especialmente no caso do tempo de vibração e da intensidade das notas musicais, para diferenciar as vibrações. Nesse caso, focamos na diferenciação através das cores para não criar confusão para as crianças. Utilizou-se um dispositivo conectado ao braço da criança, uma pulseira; assim, quando o robô vibrava, a pulseira também vibrava com a mesma intensidade, de modo que o robô era responsável pelas cores e movimentos e a pulseira vibrava junto com o piano, como foi feito no último experimento.

Devemos considerar que o ensino de música para crianças surdas deve ter como objetivo gerar uma reflexão sobre o indivíduo, em como conceber a inclusão de pessoas com situações polêmicas para os ouvintes, para ensinar música ou seja, comunicar com outras pessoas através das libras ou também ambiente social, a identidade real das crianças surdas, consequentemente, expande seu ambiente.

Referências

- BANG, C. (1991). Um mundo de som e música. In: RUUD, Ever (Org.). Música e saúde. São Paulo: Summus.
- Benenzon, R. (1983). Manual de musicoterapia. Rio de Janeiro: Ene livros.
- Darrow, A. A.; Heller, G. N. (1985). Early Advocates of Music Education for the Hearing Impaired: William Wolcott Turner and David Ely Bartlett. *Journal of Research in Music Education*, Vol. 33, No. 4.
- Finck, Regina. (2009). Ensinando Música ao Aluno Surdo: perspectiva para a ação pedagógica inclusiva. Tese de doutorado/UFRGS/ Porto Alegre.
- Gescheider, A. (1964) Cutaneous sound localization. *Journal of Experimental Psychology*, Washington, v. 70, n.6.

- Glennie, Evelyn. (2009). *The Hearing Essay*. 2008. Texto [on line]. Disponível em: . Acesso em: 16 nov. 2011. In: FINCK, Regina. *Ensinando música ao aluno surdo: perspectivas para a ação pedagógica inclusiva*. Pós Graduação (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre..
- Haguiara-Cervellini, N. (2003). *A musicalidade do surdo: representação e estigma*. São Paulo: Plexus..
- Jones, Jeannette DiBernardo. (2016). *Imagined Hearing: Music-Making in Deaf Culture*. In: Howe, B, Jensen-Moulton, S.; Lerner, N.; Straus, J. *The Oxford Handbook of Music and Disability Studies*. New York: Oxford University Press.
- Madsen, C. K., & Mears, W. G. (1965). *The Effect of Sound Upon the Tactile Threshold of Deaf Subjects*. *Journal of Music Therapy*, 2(2), 64–68.
- Mahler, Anabel. (2016). *Musical Expression among Deaf and Hearing Song Signers*. In: HOWE, B, JENSEN-MOULTON, S.; LERNER, N.; STRAUS, J. *The Oxford Handbook of Music and Disability Studies*. New York: Oxford University Press.
- Montagu, A. (1988). *Tocar: o significado humano da pele*. Tradução de Maria Silva mourão Netto. São Paulo: Summus.

Desarrollando de habilidades blandas en etapas tempranas en la formación de Ingenieros de Software

Elizabeth Vidal¹, Ricardo Gacitúa², Mauricio Dieguez²

evidad@unsa.edu.pe, ricardo.gacitua@ufrontera.cl, mauricio.dieguez@ufrontera.cl

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

² Universidad La Frontera, Temuco, Chile.

Pages: 423–436

Resumen: Los requisitos de acreditadoras internacionales en carreras de Ingeniería como ABET además del dominio de los conocimientos técnicos hacen hincapié en la importancia de las habilidades “blandas”. En la industria del software el desarrollo de estas habilidades se hace mucho mas necesario debido a que la propia naturaleza del proceso de desarrollo de software es intensivo en comunicación y trabajo en equipo. La evidencia muestra que los estudiantes de los primeros años de carreras de computación son enseñados sin considerar en forma explícita el desarrollo de las habilidades blandas. Una estrategia para enfrentar este desafío, es incluir el uso de metodologías sistemáticas de enseñanza de programación, que no solo se centren en aspectos del proceso, sino que también consideren explícitamente las habilidades blandas. Este artículo describe como la metodología R&G, considera un conjunto de habilidades blandas en un primer curso de programación. Los resultados iniciales demuestran que es posible considerar metodologías que, tempranamente, aborden las habilidades blandas requeridas por los estudiantes relacionadas a carreras de desarrollo de software.

Palabras-clave: programación, enseñanza, habilidades blandas, R&G Methodology

Developing soft skills in early stages studies of Software Engineers

Abstract: The requirements of international accreditors in Engineering careers such as ABET in addition to mastery technical knowledge emphasize the importance of “soft” skills. In the software industry, the development of these skills becomes much more necessary because of the nature of the software development process is intensive in communication and teamwork. Evidence shows that students in the first years of computer careers are taught without explicitly considering the development of soft skills. A strategy to face this challenge is to include the use of systematic programming teaching methodologies, which not only focus on aspects of the process but also explicitly consider soft skills. This article describes how the R&G methodology considers a set of soft skills in a first programming course. The

results show that it is possible to consider methodologies that, early on, address the soft skills required by computer students.

Keywords: programming, teaching, soft skills, R&G Methodology.

1. Introducción

En el contexto de desarrollo de software existe un creciente interés por el desarrollo de las denominadas habilidades blandas (“soft skills”, en inglés) producto de que el desarrollo de software enfrenta un escenario cambiante y cada día más complejo (Ahmed, Capretz, Bouktif, & Campbell, 2013; Hazzan & Har-Shai, 2013). Estas denominadas habilidades blandas se refieren a habilidades intangibles y no-técnicas que se requieren de los profesionales, por tanto son habilidades menos especializadas, menos arraigadas en vocaciones específicas y más alineadas con la disposición general y la personalidad de una persona. Ejemplos de estas habilidades son comunicación, trabajo en equipo y resolución de problemas. La necesidad de desarrollar nuevas competencias en los estudiantes, por lo tanto, es un factor clave para enfrentar el escenario tecnológico actual (Denning & Gordon, 2015).

Con una alta demanda por desarrollar habilidades relacionadas con programación, hay un alto interés por aprender a codificar (Chilana et al., 2015). Sitios tales como code.org, codecademy.org y khanacademy.org, reciben a miles de personas enrolándose en diferentes alternativas de aprendizaje. Las nuevas tecnologías y especialmente las necesidades dinámicas de la demanda laboral, han permitido el surgimiento de un número creciente de nuevos enfoques de aprendizaje, los cuales tienen como objetivo que los estudiantes se entrenen de forma eficaz y a mayor velocidad en áreas puntuales de conocimiento. Cada vez es más frecuente que dichos enfoques tomen la forma de MOOCs, es decir cursos abiertos masivos y dispuestos en internet; los “Nanotítulos”, que son cursos intensivos cortos, altamente prácticos que ofrecen certificación reconocida por compañías de distintos rubros (e.g. Amazon AWS, Google, etc.); las academias que usan técnicas de blended learning; y finalmente los Bootcamps, que son actividades inspiradas en los campos de entrenamiento que las fuerzas armadas utilizan para preparar sus tropas (Burke, Bailey, Lyon, & Green, 2018).

Lamentablemente, la enseñanza de programación continúa siendo un desafío para los educadores, la evidencia empírica demuestra que un importante número de estudiantes de computación son enseñados de forma indisciplinada, la que está enfocada principalmente en aspectos del producto (e.g. código y estructuras), por sobre aspectos del proceso (e.g. conceptualización y modelamiento) (Gacitúa, Diéguez, & Vidal, 2017; Vidal, Gacitúa, Diéguez, & Cachero, 2019). En efecto, Parnas (Parnas, 2010) advierte acerca de los peligros del desarrollo de software indisciplinado y establece que los estudiantes de computación no son enseñados para trabajar en forma disciplinada. Es frecuente escuchar hablar acerca de la “enseñanza creativa” o que el desarrollo de software es un “arte”, esto quizás como una forma de explicar la falta de procedimientos sistemáticos en la construcción de productos de software en etapas tempranas. Muchos estudiantes aprenden de lenguajes de programación y estructuras de código, pero tienen enormes dificultades para analizar problemas y posteriormente convertirlos en una solución escrita en un lenguaje de programación, para trabajar en conjunto con

otras personas y/o explicar y comunicar su solución. Por tanto, en los enfoques antes mencionados, el desarrollo de habilidades blandas no forma parte de su estrategia de enseñanza (Makasiranondh, Maj, & D, 2011; Tomić et al., 2019). Milne and Rowe (Milne & Rowe, 2002) destacan que una de las razones que hacen difícil la programación es que los estudiantes carecen de un modelo claro que les permita comprender el flujo de tareas para crear un programa de computador. Por su parte, Kirschner et al. (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006), sugiere que, basado en el conocimiento actual de la arquitectura cognitiva humana, la instrucción que provee mínimas guías, pareciera ser no efectiva. En efecto, se asegura que el aprendizaje requiere de representaciones mentales y esquemas los cuales están sujetos a cuánta información es provista. Es decir, a mayor información provista mejor será la calidad de las representaciones mentales. No existe evidencia, por tanto, que sugiera que el proveer poca información permita realizar mejores construcciones mentales. Hazzan et al. (Hazzan & Har-Shai, 2013) establece que las habilidades blandas (por ejemplo, trabajo en equipo, resolución de problemas complejos y comunicación), no pueden ser estudiadas y enseñadas formalmente, más bien, deben aprenderse y comprenderse gradualmente a lo largo de un cierto período de tiempo, sobre la base del compromiso de los estudiantes, el aprendizaje activo y la reflexión. Este es un factor clave, considerando que muchos de los enfoques antes mencionados, solo favorecen el trabajo individual, aislado y centrado principalmente en aprendizaje de un lenguaje de programación. Por tal razón, es evidente que dichos enfoques, no proveen evidencia empírica de cómo las habilidades blandas requeridas por la industria están siendo consideradas.

De modo de enfrentar este problema, parece razonable pensar que utilizando apropiadas metodologías sistemáticas de enseñanza de programación, que consideren explícitamente las habilidades blandas en etapas tempranas, tales como trabajo en equipo, resolución de problemas y comunicación, se provee de mayor y mejor información que posibilite la construcciones de representaciones mentales y esquemas que permitan centrarse en analizar primeramente los problemas, y posteriormente, mediante un proceso guiado que considera el desarrollo de soluciones en equipo, se pueda obtener la solución representada en líneas de código y por consiguiente, fortalecer el desarrollo de las habilidades blandas requeridas para el desarrollo de software. Adicional a lo anterior, se debe considerar que en el creciente escenario de internacionalización y acreditación de las universidades, y por consiguiente la acreditación de sus programas de estudios, comienza a adquirir relevancia el proveer alguna evidencia del logro de habilidades blandas en los estudiantes. En particular, en el caso de los programas relacionados con computación, instituciones de acreditación, tales como ABET¹, buscan evidencia del logro de objetivos educacionales y habilidades blandas, por sobre la evidencia relacionada con la existencia de documentos o procedimientos.

Este artículo describe la forma en que una metodología utilizada para enseñar a programar, denominada metodología R&G (Rápida & Global), considera y fortalece el desarrollo de un conjunto de habilidades blandas, tales como resolución de problemas, trabajo en equipo y comunicación, en un primer curso de programación, es decir en etapas tempranas. Incluir en forma explícita el desarrollo de habilidades blandas en los primeros cursos de programación se constituye en un primer paso para hacer del

¹ <https://www.abet.org/accreditation/>

proceso de enseñanza de programación un proceso repetible y sistemático que permita fortalecer la construcción de representaciones y esquemas mentales y el desarrollo en forma temprana de habilidades requeridas por la industria de desarrollo de software.

La estructura del artículo es como sigue: La sección 2 presenta la terminología asociada a las habilidades blandas requeridas en las carreras de ciencias de computación. Se describe además, la propuesta metodológica R&G, así como sus principales características y habilidades blandas explícitamente definidas. La sección 3 presenta un marco de análisis para analizar cómo una metodología de programación aborda el desarrollo de las habilidades blandas requeridas por la industria. Luego, la sección 4 presenta los resultados y una explicación de cómo la metodología R&G fortalece el desarrollo de las habilidades blandas. La sección 5 presenta una breve discusión respecto de los resultados obtenidos. La sección 6 destaca algunas limitaciones de presenta este estudio. Finalmente la sección 7 resume las principales conclusiones y trabajos futuros.

2. Background

La presente sección presenta la terminología asociada en esta propuesta, en especial definiciones de habilidades blandas. Se presenta además, la propuesta metodológica R&G, así como sus principales características y habilidades explícitamente definidas.

2.1. Requerimientos actuales de la Industria

Las exigencias relacionadas al desarrollo de software han cambiado ampliamente, no solo porque la complejidad de los sistemas se ha incrementado, sino porque las aplicaciones de software han variado. El surgimiento de nuevas tecnologías de software, tales como cloud computing; analítica y visualización; integración de dispositivos; equipos móviles; aprendizaje de máquinas; procesamiento de lenguaje natural; obliga a incluir nuevas características al proceso de desarrollo y a los productos, tales como escalabilidad, resistencia frente a fallos, auto-adaptación, entre otros aspectos (Hohpe, Ozkaya, Zdun, & Zimmermann, 2016). Estos tipos de sistemas requieren la participación de equipos de desarrollo conformados por líderes de proyectos, arquitectos, analistas, programadores e ingenieros de pruebas, entre otros. Incluso, muchas veces estos equipos se encuentran distribuidos en diferentes partes del mundo. Empresas tales como Google, Facebook, Spotify, Microsoft, Belatrix, Amazon, Apple, destacan entre sus perfiles habilidades tales como la habilidad de trabajo en equipo y comunicación.

Un importante estudio presenta la relación de las habilidades blandas y el dominio de ingeniería de software y sistemas de información basado en anuncios de trabajo publicados en sitios de reclutamiento conocidos ubicaciones geográficas que incluyen América del Norte, Europa, Asia y Australia. El estudio identifica nueve habilidades blandas dentro de la industria del software (Robles, 2012).

2.2. Habilidades blandas

Según Kamin (Kamin, 2013), las habilidades blandas son habilidades interpersonales que demuestran la capacidad de una persona para comunicarse de manera efectiva y construir relaciones con otros en interacciones uno a uno o en grupos y equipos. Para este autor, la práctica de estas habilidades ayuda en la comunicación y promueven la

resolución de problemas, negociación, resolución de conflictos y trabajo en equipo. De los cinco criterios que establece ABET, a través de la Computing Accreditation Commission (CAC), en su nueva versión (2019-2020), dos de ellos se refieren a (1) la habilidad de comunicarse efectivamente en una variedad de contextos profesionales y (2) la habilidad de funcionar efectivamente como miembro o líder de un equipo involucrado en actividades apropiadas a la disciplina del programa.

2.2.1. Habilidad de Comunicación

La habilidad de comunicación se refiere a la habilidad de transmitir ideas con facilidad y claridad de manera que el equipo de trabajo pueda avanzar hacia un objetivo común. Los desarrolladores de software deben tener la habilidad de transmitir ideas complejas en forma sencilla, articular con claridad cuál es el problema a resolver y el objetivo a lograr (Belzer, 2004). Dentro del ámbito de las carreras de computación, La ACM/IEEE-CS2013 expresa que se espera que los graduados deben tener la capacidad de hacer presentaciones efectivas a una variedad de audiencias sobre problemas técnicos y sus soluciones (“ACM Curricula Recommendations: Computer Science Curricula 2013,” n.d.).

2.2.2. Habilidad de Trabajo en Equipo

El trabajo en equipo involucra un grupo de personas que trabajan juntas de manera formal para garantizar el logro de objetivos definidos. En lo referido al desarrollo de software existe una considerable interacción entre las personas que llevan a cabo diversos roles y funciones pero con un propósito común. De acuerdo a la ACM/IEEE-SwEngineering2014, los graduados en ingeniería del software deberán ser capaces de trabajar tanto individualmente y como parte de un equipo para desarrollar y entregar artefactos de software de calidad. Para ello, durante sus estudios deben realizar tareas que impliquen experimentar diversos roles tan explícitamente como sea posible. Esto debe incluir un énfasis en la importancia de asuntos tales como un enfoque disciplinado, cumplir con los plazos, la comunicación y evaluaciones de desempeño individual y de equipo (Ardis et al., 2015).

2.2.3. Habilidad de Resolución de Problemas

La resolución de problemas es un proceso cognitivo dirigido al logro de un objetivo cuando no existe un método de solución conocido ni evidente para quien resuelve el problema (Lovett, 2002; Mayer & Wittrock, 2006). La ACM/IEEE-CS2013 define la habilidad de resolución de problemas como el poder aplicar los conocimientos que han adquirido los estudiantes para resolver problemas reales y no solo escribir código y mover bits. Además, deben darse cuenta de que hay múltiples soluciones a un problema dado y que seleccionar entre ellos no es una actividad puramente técnica, ya que estas soluciones tendrán un impacto real en la vida de las personas (“ACM Curricula Recommendations: Computer Science Curricula 2013,” n.d.).

2.3. R&G Methodology

La metodología R&G (Rápida y Global) (Gacitúa et al., 2017), es una propuesta metodológica para la enseñanza de la programación que impulsa el desarrollo de soluciones a través de un proceso sistemático, disciplinado y repetible. Esta metodología

busca el desarrollo de habilidades cognitivas para la resolución de problemas, centrándose en la enseñanza de un proceso que guíe la resolución de un problema. No busca que un estudiante logre un alto dominio de la sintaxis de algún lenguaje de programación, sino que el estudiante sea capaz de proponer soluciones a un problema, de manera sistemática y disciplinada. La metodología consiste de 4 etapas:

- *Define*: En esta etapa se realiza un análisis del problema, con el objetivo de asegurarse que el estudiante logre una comprensión del problema al que se enfrenta y sea capaz de establecer las principales estructuras y componentes de la solución a proponer.
- *Resuelve*: En esta etapa se plantea el diseño de la solución, a través de un lenguaje gráfico, en el cual se detallan las actividades que dan solución al problema. En esta etapa, se logra obtener el conjunto de instrucciones que dan solución al problema.
- *Convierte*: En esta etapa se convierte el diseño propuesto en la etapa anterior, a través de un conjunto de reglas de transformación, en un algoritmo escrito en pseudo-código. Para lograr esto, se recorre el árbol generado en la etapa de diseño transformándolo en su equivalente en pseudo-código, a través de un conjunto de reglas de transformación.
- *Codifica*: En esta última fase, se construye el código de la solución, en cualquier lenguaje de programación, a partir del pseudo-código obtenido en la etapa anterior. Al igual que en la fase anterior, se puede automatizar la obtención del código.

La metodología busca desarrollar en los estudiantes un conjunto de competencias o habilidades, centrando su foco en aquellas asociadas al análisis y diseño de soluciones. Sin embargo, también aporta al desarrollo de habilidades blandas como el trabajo en equipo, comunicación, resolución de problemas, entre otras. En la tabla-1, resumimos estas habilidades blandas, de acuerdo a la clasificación que se presenta en (Ahmed et al., 2013), indicando para cada una, la fase de la metodología donde se trabajan.

	Etapas de la Metodología			
	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4
Adaptación a los cambios		✓	✓	✓
Trabajo independiente			✓	✓
Trabajo en equipo	✓	✓		
Habilidades organizacionales	✓	✓		
Habilidades para resolver problemas	✓	✓		
Habilidades interpersonales		✓		
Habilidades de Comunicación	✓	✓		

Tabla 1 – Habilidades blandas según etapas de la metodología R&G.

Durante los dos últimos semestres se ha utilizado la metodología en algunos módulos de una asignatura de programación, obteniéndose impactos positivos en (Diéguez, Gacitúa,

& Vidal, 2018): i) los promedios de notas de los estudiantes, ii) las tasas de aprobación, iii) la homogeneidad de las notas (los rangos de notas es mucho más homogéneo), iv) las tasas de deserción y v) la adopción, por parte de los estudiantes, de un proceso sistemático y disciplinado para plantear soluciones a problemas de programación y vi) el desarrollo de un conjunto de habilidades blandas.

3. Marco de Análisis

Esta sección presenta un marco de análisis el cual permite proveer de los aspectos relevantes para discutir la manera en que se aborda el logro de ciertas habilidades blandas en la metodología R&G. Dicho marco consta de 3 categorías, tal como lo ilustra la figura-1, las cuales se analizarán en el contexto de la metodología. Estas categorías son:

- *Habilidad.* Se refiere a las habilidades intangibles y no-técnicas que se requiere desarrollar (habilidades blandas). En este caso, los estudiantes conocen de antemano la habilidad sobre el cual están trabajando. Por ejemplo, trabajo en equipo y comunicación.
- *Práctica.* Se refiere al conjunto de actividades que permiten aprender y comprender gradualmente la habilidad a lo largo de un cierto período de tiempo, sobre la base del compromiso de los estudiantes, y el aprendizaje activo.
- *Perspectiva.* Las perspectivas que los estudiantes tienen sobre el mundo que les rodea y sobre sí mismos cuando comprenden estas habilidades y se involucran en estas prácticas. La perspectiva comprende la reflexión sobre esta habilidad y entender porqué se logra o no se logra la habilidad y cómo su adquisición puede ser mejorada.

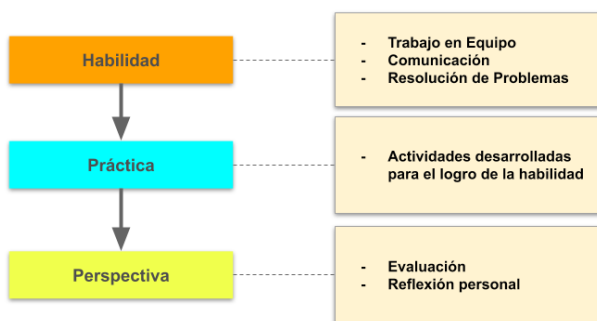


Figura 1 – Marco de análisis.

El análisis de cada habilidad blanda considera los siguientes elementos:

- *Trabajo en Equipo.* Esta habilidad se refiere al trabajo realizado por varias personas, en donde cada uno hace una parte pero todos tienen un objetivo común. Algunos aspectos a considerar en el análisis de esta competencia son: i) existencia de comunicación abierta a objeto de evitar los conflictos, ii) Nivel de

Coordinación para evitar confusiones, iii) Nivel de Cooperación en el desarrollo de las tareas, y iv) Nivel de interdependencia para mantener los niveles de confianza y rendimiento.

- *Comunicación.* La comunicación, como habilidad blanda, es la acción consciente de intercambiar información entre dos o más participantes con el fin de transmitir o recibir información u opiniones distintas. En este caso, se considera los actos de escribir, escuchar y hablar.
- *Resolución de problemas.* Consiste en analizar problema informático complejo y aplicar los principios de la informática y otras disciplinas pertinentes para identificar soluciones. En este caso, se considera la identificación del problema y su modelado como elementos relevante de la resolución de problemas.

4. Resultados

Esta sección analiza los aspectos relevantes de la metodología R&G y explica cómo se aborda el logro de cada habilidad blanda definida en el marco de análisis.

4.1. Aspectos Preliminares

La experiencia descrita en esta sección, corresponde a un primer curso de programación en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, conformado por 30 estudiantes, en el año 2019. Dicho curso tiene una duración de 17 semanas. El desarrollo de los primeros ejercicio práctico corresponde a ejercicios de carácter individual. Dichos ejercicios son simples y abordan procesamientos aritméticos, condicionales simples, y bucles (4 semanas). A partir de la quinta semana se presentan ejercicios de mayor complejidad. A partir de la quinta semana se les solicita a los estudiantes que hagan uso de la Metodología R&G en su primera y segunda etapa (Define y Resuelve).

4.2. Análisis

En esta sección se detalla la forma en que la metodología R&G aborda el desarrollo de las habilidades blandas mencionadas anteriormente, y se describen las estrategias que se utilizaron para su desarrollo, las etapas en las que se trabajaron y los resultados que se obtuvieron.

Trabajo en Equipo:

Práctica. Para enfrentar el desarrollo de esta habilidad, los estudiantes trabajaron en grupo cada problema propuesto, debiendo auto-organizarse a través de la asignación de roles dentro del grupo, donde uno actúa como el jefe de grupo, asignando y dirigiendo las tareas del resto. El jefe del grupo es el interlocutor del grupo frente al profesor, además es el responsable de la coordinación e integración del trabajo de cada integrante y del resultado obtenido. El resto de los integrantes, son los responsables de las tareas individuales, preocupándose de la resolución de su problema particular así como de la posterior integración de su solución. Esto implica que, aunque el jefe del grupo sea el responsable final y quien tiene la misión de integrar, cada integrante debe ser partícipe del diseño general. Este esquema se replica en cada ejercicio, variando los roles de los

integrantes. En la figura-2, se ilustra el trabajo de los grupos en la resolución de un problema dado.

Perspectiva. Para evidenciar resultados se realizó una encuesta en la que se pregunta a los estudiantes que forma de trabajo creen que les permite llegar de mejor manera a la resolución del problema, si de la forma de trabajo individual o el desarrollo en grupal. El total de estudiantes contestó que haciendo trabajo en equipo, como se muestra en la figura-3. Algunas de las respuestas que se obtuvieron fueron: “en grupo, porque me permite ver otras perspectivas”, “en equipo porque me ayuda a darme cuenta de los temas que me faltan reforzar”, “en grupo, porque la discusión nos ha permitido comprender mejor el problema, cada uno aporta y explica como lo comprendió” o “en equipo porque aprendo de los que más saben”.



Figura 2 – Trabajo en equipo

Para resolver un problema prefiero:



Figura 3 – Resultados.

Comunicación:

Práctica. El desarrollo de esta habilidad se consideró desde tres dimensiones: Escribir, escuchar y hablar. Las dinámicas se organizaron a través del trabajo grupal para el desarrollo de los problemas. Bajo esta lógica los estudiantes deben ser capaces de resolver las diferencias de ideas que se producen en las etapas de análisis y diseño. Los estudiantes deben ser capaces de expresar (*hablar*) claramente sus puntos de vista en

cuanto a la comprensión del problema y sus ideas de diseño. Además, deben aprender a *escuchar* y ser respetuosos con las opiniones de sus compañeros, de tal manera de lograr acuerdos y alcanzar una propuesta de solución al problema planteado. Por otra parte, dada la propia naturaleza de la metodología, los estudiantes deben describir y documentar (*escribir*) las actividades que forman parte del diseño de la solución propuesta. En la figura-4, se observa parte de las actividades de la práctica.



Figura 4 – Comunicación.

Perspectiva. La validación de esta habilidad responde a la siguiente pregunta: “¿El trabajar en equipo me ha permitido desarrollar la habilidad de expresar mis ideas?”. Esta pregunta es evaluada con una escala de Likert (0-5). El resultado de la evaluación se muestra en figura-5.

El trabajar en equipo me dió un espacio para expresar mis ideas

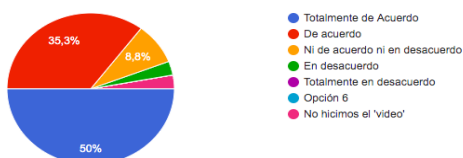


Figura 5 – Resultados.

Resolución de problemas:

Práctica. Uno de los principales focos de la metodología R&G, es desarrollar la capacidad de resolver problemas de programación a través de la aplicación de un proceso disciplinado y sistemático. Para lograr este objetivo, la metodología define cuatro pasos o actividades. Los estudiantes cada vez que deben resolver un problema de programación, deben seguir el procedimiento indicado por la metodología en cada una de sus etapas. En las dos primeras etapas, es en dónde se concentra el desarrollo de esta habilidad (tal como se aprecia en la tabla-1). En la primera etapa, se realiza un análisis

de la situación presentada para lograr determinar de manera precisa cuál es el problema que se debe resolver. En la segunda etapa, los estudiantes deben obtener, a través de refinamientos sucesivos, el conjunto de instrucciones que resuelve el problema. Para apoyar este proceso ambas etapas poseen canvas o plantillas para guiar el desarrollo. En la figura-6, se aprecia la práctica en los estudiantes.



Figura 6 – Resolución de problemas.

Perspectiva. De las consultas efectuadas a los estudiantes, estos han respondido que enfrentarse a los ejercicios es mucho más fácil con la metodología, ya que su estructura (etapas) y la secuencia ordenada de pasos, les facilita, primeramente, ordenar sus ideas y luego, desarrollarlas hasta obtener las instrucciones que forman parte de su programa. Algunas de las opiniones de los estudiantes son “Nos ayuda a ser mas estructurados con la metodología R y G”, “la metodología utilizada ha sido una gran ayuda para entender los contenidos”, “La obligación de tener que analizar claramente un problema para poder comenzar a resolverlo ha sido un aspecto positivo” o “aprender a pensar de manera estructurada para así poder comprender como funciona un sistema o programa.”.

5. Discusión

En el último tiempo se viene planteando la necesidad, de incorporar en los procesos formativos, el desarrollo de las denominadas habilidades blandas (Capretz & Ahmed, 2018). Hoy en día existen múltiples plataformas para aprender a programar, sin embargo éstas se centran en aspectos técnicos de la formación y no dan mayor cobertura al desarrollo de habilidades blandas en el estudiante. De la misma manera, los programas de enseñanza de las instituciones de educación se centran en la codificación y no el proceso del desarrollo de problemas, incluso basan sus cursos en las plataformas mencionadas anteriormente. Luego, la mayoría de los programas de enseñanza no están incluyendo actividades tendientes al desarrollo de las habilidades blandas.

Los resultados presentados en este estudio muestran que la metodología R&G se presenta como una herramienta para la enseñanza de la programación que es capaz de atender el desarrollo de las habilidades blandas en los estudiantes de programación, además de entregarles una guía para la resolución de problemas, la cual permite, por una parte, el

desarrollo de habilidades cognitivas para plantear soluciones, y, por otra parte, provee de las habilidades técnicas o disciplinares que todo desarrollador debe poseer.

Otro elemento favorable, es que la metodología introduce el desarrollo de estas habilidades desde etapas tempranas de la formación de los ingenieros, lo que ayuda al reforzamiento de las mismas durante todo el proceso de formación, lo que da más posibilidades de lograr un desarrollo eficaz de estas habilidades y permite asegurar que el estudiante llegue mejor preparado a la industria, tanto en lo técnico como en lo personal.

6. Limitaciones a la validez

Si bien la metodología ha sido utilizada y validada previamente, el análisis de la forma en que ésta aborda las habilidades blandas se realiza por primera vez en este semestre. Se realiza un análisis de la opinión que tienen los estudiantes en relación cómo la metodología les ayuda a comunicar sus propuestas (formato gráfico) y, sobre todo, por qué la resolución de problemas a través del trabajo en equipo se considera una mejor estrategia.

Además, cabe destacar que el universo de estudiantes observados, del cual reconocemos que no es suficiente para obtener conclusiones estadísticamente confiables, sin embargo dan una información cualitativa que permite establecer una tendencia y un futuro marco de investigación.

7. Conclusiones

Este artículo describe como la metodología utilizada para enseñar a programar, denominada metodología R&G (Rápida & Global), considera un conjunto de habilidades blandas, tales como resolución de problemas, trabajo en equipo y comunicación, en un primer curso de programación. Se considera un marco de análisis el cual considera 3 dimensiones: habilidad, práctica y perspectiva, para discutir la manera en que las habilidades de trabajo en equipo, comunicación y resolución de problemas son consideradas en la metodología. Los resultados presentados demuestran que es posible considerar metodologías que, desde un principio, aborden las habilidades blandas requeridas por los estudiantes de computación y solicitadas por la industria de software.

Trabajo futuro incluye realizar equivalencias entre las competencias requeridas por instituciones de acreditación, tales como ABET, así como un modelo conceptual que describa todos los aspectos necesarios a incluir dentro del proceso de enseñanza de programación, con el objeto de mejorar el entendimiento del proceso de enseñanza.

Agradecimientos

Trabajo financiado parcialmente por la Universidad de La Frontera, Proyecto IF18-0011.

Referencias

- ACM Curricula Recommendations: Computer Science Curricula 2013. (n.d.).
- Ahmed, F., Capretz, L. F., Bouktif, S., & Campbell, P. (2013). Soft Skills and Software Development: A Reflection from Software Industry. *International Journal of Information Processing and Management*, 4(3), 171–191. <https://doi.org/10.4156/ijipm.vol4.issue3.17>
- Ardis, M. A., Budgen, D., Hislop, G. W., Offutt, J., Sebern, M. J., & Visser, W. (2015). SE 2014: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering. *IEEE Computer*, 48(11), 106–109.
- Belzer, K. (2004). Project management: Still more art than science. Retrieved August 19, 2004.
- Burke, Q., Bailey, C., Lyon, L. A., & Green, E. (2018). Understanding the Software Development Industry's Perspective on Coding Boot Camps Versus Traditional 4-year Colleges. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 503–508). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3159450.3159485>
- Capretz, L. F., & Ahmed, F. (2018). A Call to Promote Soft Skills in Software Engineering. *ArXiv Preprint ArXiv:1901.01819*.
- Chilana, P. K., Alcock, C., Dembla, S., Ho, A., Hurst, A., Armstrong, B., & Guo, P. J. (2015). Perceptions of non-CS majors in intro programming: The rise of the conversational programmer. In *2015 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)* (pp. 251–259). <https://doi.org/10.1109/VLHCC.2015.7357224>
- Denning, P. J., & Gordon, E. E. (2015). A Technician Shortage. *Commun. ACM*, 58(3), 28–30. <https://doi.org/10.1145/2723673>
- Diéguez, M., Gacitúa, R., & Vidal, E. (2018). Evaluating the impact of training software engineers using the R&G methodology. In *JIIISIC 2018 - Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento* (pp. 185–196). Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050094817&partnerID=40&md5=ac82dbf7adfe3a438a408b3036104584>
- Gacitúa, R., Diéguez, M., & Vidal, E. (2017). Forming software architects in early stages: From craft to engineering. In *2017 36th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/SCCC.2017.8405130>
- Hazzan, O., & Har-Shai, G. (2013). Teaching Computer Science Soft Skills As Soft Concepts. In *Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 59–64). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2445196.2445219>

- Hohpe, G., Ozkaya, I., Zdun, U., & Zimmermann, O. (2016). The software architect's role in the digital age. *IEEE Software*, 33(6), 30–39.
- Kamin, M. (2013). *Soft skills revolution: a guide for connecting with compassion for trainers, teams, and leaders*. John Wiley & Sons.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Lovett, M. C. (2002). Problem solving. *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*.
- Makasiranondh, W., Maj, S., & D, V. (2011). Student Opinions on their Development of Non-technical Skills in IT Education. *Modern Applied Science*, 5. <https://doi.org/10.5539/mas.v5n2p3>
- Mayer, R. E., & Wittrock, M. C. (2006). Problem solving. *Handbook of Educational Psychology*, 2, 287–303.
- Milne, I., & Rowe, G. (2002). Difficulties in learning and teaching programming—views of students and tutors. *Education and Information Technologies*, 7(1), 55–66.
- Parnas, D. L. (2010). Risks of Undisciplined Development. *Commun. ACM*, 53(10), 25–27. <https://doi.org/10.1145/1831407.1831419>
- Robles, M. M. (2012). Executive perceptions of the top 10 soft skills needed in today's workplace. *Business Communication Quarterly*, 75(4), 453–465.
- Tomić, B., Jovanović, J., Milikić, N., Devedžić, V., Dimitrijević, S., Đurić, D., & Ševarac, Z. (2019). Grading students' programming and soft skills with open badges: A case study. *British Journal of Educational Technology*, 50(2), 518–530. <https://doi.org/10.1111/bjet.12564>
- Vidal, E., Gacitúa, R., Diéguez, M., & Cachero, C. (2019). Correspondence analysis between programming teaching approaches. In *XIV Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento, IIISIC 2019* (pp. 177–188).

Modelo semántico para trayectorias de regiones en movimiento

Alvaro Enrique Ortiz¹, Luz Angela Rocha², Rubén Javier Medina³

aeortizd@udistrital.edu.co, lrocha@udistrital.edu.co, rmedina@udistrital.edu.co

¹⁻²⁻³ Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Doctorado en Ingeniería, Ingeniería Catastral y Geodesia, Facultad de ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC). Sede principal: Carrera 7 No. 40B - 53. Bogotá D. C., Colombia.

Pages: 437–449

Resumen: En los últimos años se ha venido trabajando en investigaciones que representan el seguimiento de objetos en movimiento en bases de datos espacio-temporales mediante trayectorias. Estas trayectorias han permitido pasar del mundo discreto al continuo del movimiento, sin embargo, se han concentrado en puntos en movimiento, los cuales cambian de posición en el tiempo, conformando líneas de trayectorias en tres dimensiones, siendo la tercera dimensión el tiempo. Se han realizado adiciones de información a las trayectorias construidas, enriqueciéndolas con una semántica y formando lo que se conoce como trayectorias semánticas. En el caso de regiones en movimiento, sólo se han propuesto modelos teóricos para las trayectorias crudas en bases de datos espacio-temporales. Proponemos aquí, un modelo semántico para trayectorias de regiones en movimiento realizado en PostgreSQL-PostGIS, para el caso de estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá, con unas semánticas asociadas para la expansión urbana.

Palabras-clave: Bases de datos espacio-temporales; bases de datos de objetos en movimiento; regiones en movimiento; semántica; trayectorias.

A semantic model for moving region trajectories

Abstract: In recent years, there has been researched on representing the tracking of moving objects in spatiotemporal databases through trajectories. These trajectories allowed to move from the discrete world to continuous world. However, the focus of the trajectories is moving points, which change their position in time, forming paths lines in three dimensions, with the third dimension being time. In the last decade it's possible to add new information to trajectories, enriched with a semantic and forming what is known as semantic trajectories. In the case of moving regions, only a few theoretical models have been proposed for raw trajectories. The purpose of this paper is to propose a novel semantic model for moving regions trajectories in PostgreSQL – PostGIS, for the case study of growing urban area in Bogotá, with a semantic for moving and urban expansion.

Keywords: Spatiotemporal database; Moving object databases; Moving regions; Semantic; Trajectories.

1. Introducción

El registro de información espacial es cada vez más intensivo, gracias al desarrollo tecnológico de los dispositivos que permiten su captura y almacenamiento. El seguimiento de objetos y el almacenamiento de su rastreo, también ha sido del interés de diversos estudios y trabajos de investigación, en donde las bases de datos espacio-temporales han jugado un papel fundamental, ya que permite almacenar la dimensión espacial como la temporal.

Sin embargo, la forma tradicional de almacenar el espacio-tiempo es mediante instantáneas, registrando algunas de las posiciones en un instante de tiempo, y así sucesivamente mientras el objeto se mueve. Este método es discreto y sólo se puede consultar las instancias temporales registradas en la base de datos. El término de bases de datos de objetos en movimiento se refiere a una base de datos que representa el movimiento de entidades y realiza consultas respecto a los movimientos, haciendo énfasis a que el movimiento, o geometría, puede cambiar de forma continua (Güting & Schneider, 2005).

En los últimos años, se han propuesto modelos relacionadas con la adición de información a las trayectorias, normalmente información del contexto en el que se desarrolla el movimiento de los objetos, naciendo así el concepto de trayectoria semántica, gracias a ese enriquecimiento de información asociado que permite realizar nuevos análisis que puedan ayudar a describir el comportamiento de la trayectoria.

En este artículo se presenta un modelo general para asociar información a una región en movimiento representada en el sistema de base de datos PostgreSQL con la extensión de PostGIS, creando así una semántica para la trayectoria. Nuestro caso de estudio es el crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá, así que la trayectoria es conformada por instancias temporales de Bogotá en diferentes años, y la semántica se define para ayudar a describir cómo ha sido el comportamiento de crecimiento de la ciudad en un periodo de tiempo. Si bien, nuestro es definir un modelo semántico aplicable a trayectorias de regiones en movimiento, no abordamos el análisis de la información semántica, pero se deja la información asociada que se puede tomar como base para los diferentes análisis necesarios.

2. Trayectorias de objetos en movimiento

Una trayectoria espacial corresponde al trazo generado por un objeto que se mueve en un espacio geográfico, usualmente se representa por una serie de puntos ordenados cronológicamente, donde cada punto consiste de unas coordenadas espaciales y una estampilla de tiempo (Zheng & Zhou, 2011), se denota como $\{(x_1, y_1, t_1), (x_2, y_2, t_2), \dots, (x_n, y_n, t_n)\}$, donde x_i, y_i representan las coordenadas geográficas del objeto en movimiento, y t_i corresponde al tiempo, siendo n el número total de elementos. Claramente esta representación discreta se ha trabajado, sin embargo, desde inicios del siglo se ha empezado a formular propuestas de mapeo de esta representación hacia un modelo continuo (Forlizzi, Güting, Nardelli, & Schneider, 2000), llegando actualmente a representar líneas de trayectorias, como se muestra en la figura 1.

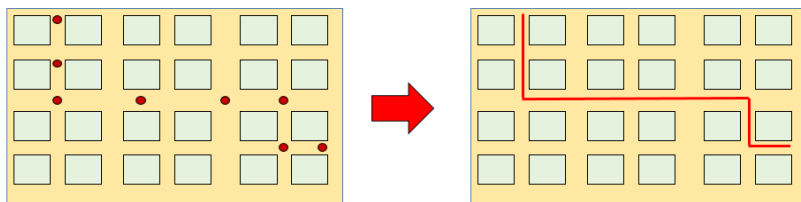


Figura 1 – Representación de trayectorias de discretas a continuas.

La línea de la trayectoria se construye en tres dimensiones, de ésta forma cada punto se conforma con sus coordenadas en el plano y el tiempo como una tercera dimensión, como se muestra en la figura 2. Se trazará una línea entre cada punto registrado, ordenado temporalmente para la obtención de la línea de la trayectoria.

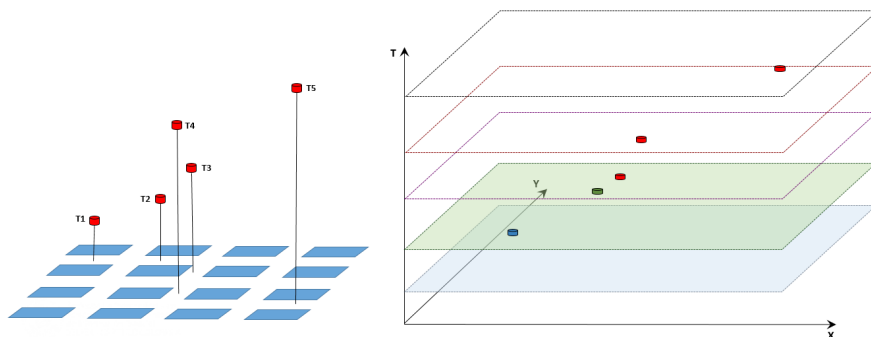


Figura 2 – Puntos discretos para la construcción de la trayectoria.

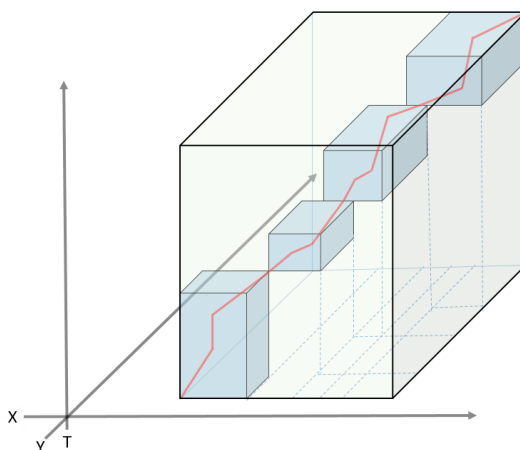


Figura 3 – Ejemplo de sub-trayectorias de puntos en movimiento. Adaptado de (Pelekis & Theodoridis, 2014)

Una trayectoria T es una lista de puntos ordenados (p_1, p_2, \dots, p_n) , donde $p_j = (x_j, y_j, t_j)$ y $t_1 < t_2 < t_3 \dots < t_n$.

Las trayectorias se pueden dividir en tramos, llamados sub-trayectorias, los cuales conforman partes de la trayectoria, de acuerdo al objeto en movimiento y la actividad del movimiento puede tener un significado para la trayectoria en sí, por ejemplo, puede significar cambios de velocidad, donde cada sub-trayectoria se mueve con una misma velocidad, y el cambio de sub-trayectoria, puede significar una aceleración o desaceleración, la figura 3 nos ilustra un ejemplo de las sub-trayectorias (Pelekis & Theodoridis, 2014).

Una subtrayectoria s de T es una lista consecutiva de puntos $(p_k, p_{k+1}, \dots, p_{k+i})$, donde $p_i \in T$, $k \geq 1$, y $k+i \leq n$.

2.1. Trayectorias de regiones en movimiento.

Las trayectorias de regiones en movimiento no han sido implementadas en los sistemas de bases de datos de objetos en movimiento, se ha llegado a tener una abstracción de las regiones y un registro de las posiciones e inclusive su nueva forma en otro tiempo específico, pero no la trayectoria como tal que modele el movimiento continuo de transformación de forma y translación espacial. En cambio, las trayectorias de puntos en movimiento si han sido muy trabajadas y representadas como líneas en un espacio tridimensional, como se ha mencionado anteriormente.

3. Trayectorias semánticas

Otro concepto asociado a la trayectoria es el comportamiento, que es el conjunto de características que identifican una conducta particular del objeto en movimiento, o el conjunto de objetos en movimiento (Parent et al., 2013). El comportamiento puede ser definido o inferido con base en las características espacio-temporales de la trayectoria, o puede confiar en la información semántica. Una trayectoria puede mostrar varios comportamientos al mismo tiempo

Nuevas investigaciones relacionadas con las trayectorias, se direccionan en adicionarle nueva información, logrando asociarle anotaciones y así crear unos nuevos conceptos en las trayectorias, se denominan entonces trayectorias crudas a aquellas que solamente registran el movimiento, como las que hemos visto hasta el momento, mientras que las trayectorias a las que se les puede adicionar información adicional se denominan trayectorias semánticas. Las primeras trayectorias semánticas se definieron en (Spaccapietra et al., 2008), donde la semántica se define mediante paradas y movimientos, descomponiendo la trayectoria en secuencias de movimiento, donde además se pueden dar cambios de dirección, otro trabajo en el mismo sentido se encuentra en (Alvares et al., 2007).

El propósito principal del modelo de paradas y movimientos es mostrar que una semántica de trayectoria no es una trayectoria cruda que muestra el seguimiento del objeto capturado por los dispositivos, sino que también es importante los lugares donde el objeto permaneció durante un tiempo (parada), y el movimiento entre dos paradas corresponde al movimiento. La semántica asociada a la trayectoria es entonces el conjunto

de lugares donde el objeto para o se mueve. El modelo de paradas y movimiento, pese a que adiciona información a la trayectoria cruda, no permite caracterizar una trayectoria.

Posteriormente se propuso otro modelo que asocia tareas de minería de datos a las paradas y movimientos (Bogorny, Heuser, & Alvares, 2010). También se han desarrollado trabajos donde se asocian anotaciones a las trayectorias para definir una semántica (Yan, Chakraborty, Parent, Spaccapietra, & Aberer, 2011). En el trabajo de Parent, se adicionan los conceptos de comportamiento, y de episodios, que son segmentaciones de la trayectoria a los cuales le asocia las anotaciones semánticas (Parent et al., 2013), estos comportamientos pueden ser inferidos mediante técnicas de agrupamiento (Tietbohl Palma, Bogorny, Kuijpers, & Alvares, 2008), y clasificaciones.

Actualmente se han definido estructuras más complejas para adicionar la semántica a las trayectorias como el trabajo de Bogorny (Bogorny, Renso, de Aquino, de Lucca Siqueira, & Alvares, 2014), en donde separa la información en dos partes, una que corresponde al objeto en movimiento, el dispositivo, la semántica propia de la trayectoria, los puntos, el ambiente y el lugar. La otra se refiere a los objetivos de la trayectoria y sub-trayectorias, la semántica de las sub-trayectorias, el medio de transporte, el comportamiento de la trayectoria y sub-trayectorias (Bogorny et al., 2014).

El modelo planteado en (Bogorny et al., 2014), llamado CONSTAnT (CONceptual model of Semantic TRAyecTories) se enfoca en el modelamiento semántico de trayectorias, representación, análisis y significado, y se plantea como un paso previo para el proceso de descubrimiento de conocimiento. El modelo tiene en cuenta información del contexto del objeto en movimiento, la cual proviene del mundo real donde el objeto se mueve, o del conocimiento del dominio del movimiento. También es importante es el comportamiento del objeto en movimiento (trayectoria o sub-trayectoria), que son las características que identifican una conducta peculiar del objeto en movimiento.

El trabajo de (Güting, Valdés, & Damiani, 2015) se enfoca en la adición de un nuevo tipo abstracto de datos donde se asocian anotaciones, llamadas anotaciones simbólicas que representan las dependencias temporales, y se adicionó al sistema de SECONDO (Valdés, Damiani, & Güting, 2013), definiendo así lo que llamaron trayectorias simbólicas para la representación de la semántica en las trayectorias definidas.

Hasta el momento, los trabajos realizados a las semánticas de trayectoria, se ha enfocado en trayectorias de objetos de tipo punto, que forman líneas representando la trayectoria, a la cual se le asocia la semántica respectiva. Esto se debe, por supuesto, a que estas trayectorias se han implementado en las aplicaciones de base de datos, pero como no se han implementado las trayectorias de regiones en movimiento, no hay referencia de trabajos que asocien alguna semántica a este tipo de trayectorias, las regiones en movimiento se construyen como poliedros en el espacio con referencia al tiempo como una dimensión.

4. Modelo propuesto para trayectorias semánticas de regiones en movimiento

En este trabajo de investigación, se define un conjunto de trayectorias semánticas de puntos en movimiento, que se asocian a las sub-trayectorias de la región en movimiento, para definir una semántica completa en dos niveles semánticos:

- Nivel semántico del movimiento de la región en períodos de tiempo
- Nivel semántico del contexto donde se mueve la región en el periodo de tiempo

4.1. Nivel semántico del movimiento de la región.

Este nivel semántico se encarga de caracterizar el movimiento en sí, asocia información de los cambios presentados en las variables de la dinámica temporal de las regiones en movimiento, como son la forma, posición y densidad interna. Se registran los cambios para todas las sub-trayectorias que conforman la trayectoria de la región en movimiento, de la siguiente manera:

1. Se genera una sub-trayectoria desde el punto en movimiento entre el centroide de la instantánea que corresponde a la región en el tiempo inicial de la sub-trayectoria, hasta el centroide de la instantánea de la región en el tiempo final de la sub-trayectoria.
2. Se asocia a la sub-trayectoria creada una semántica de valores de área y perímetro, cuando aplique, también se registra la información de la densidad, que corresponde a un valor cuantitativo asociado a la información temática que representa la región en movimiento. Cabe anotar que la información temática puede ser más de una, esto es, que se puede asociar varias variables temáticas a la sub-trayectoria, como, por ejemplo: población total, número de menores de edad, cantidad de mujeres, niveles de escolaridad, número de desempleados, etc.
3. Dependiendo de la forma en que se realicen las consultas en la trayectoria de la región en movimiento, o de las temáticas propias de la trayectoria, se considera la opción de crear varias trayectorias de puntos en movimiento para asociar la información de las diferentes variables que describan las densidades internas de la región en movimiento.
4. En el caso de requerirse información de caracterización de cambios de forma, se crean trayectorias que van desde los puntos extremos (valores máximos y mínimos en las componentes cartesianas X y Y), de cada una de las instantáneas en los tiempos iniciales y finales de las sub-trayectorias, esto con el fin de determinar dirección de cambios, o tendencias de los lugares de aumento o disminución de forma, que se podrían asociar directamente a algunas variables de la densidad interna. En caso de ser necesario, se puede densificar los puntos extremos, en lugar de 4 puntos, podrían ser 8, o 16; dependiendo de la precisión requerida de caracterización.

4.2. Nivel semántico del contexto de la región.

El nivel semántico del contexto de la región, hace referencia a la información que se debe asociar y que hace parte, no propiamente de la región en movimiento, sino del entorno en donde se mueve la región, o los demás objetos con que se relaciona la región en movimiento en particular.

Podría ser relevante para la trayectoria registrar característica del entorno del movimiento, como el medio, o restricciones que pueden afectar el desempeño del movimiento, y ayuden a explicar su comportamiento.

Estas semánticas, en caso de ser generales a toda la región, se podrán asociar a la trayectoria entre los centroides de las regiones de cada sub-trayectoria, o, en el caso que afecte a un área particular de la región, se puede asociar también a las trayectorias de los bordes, para posiciones o secciones de la región.

La figura 4 muestra un modelo que corresponde a la base mínima de una trayectoria semántica de región en movimiento. Dependiendo del tipo de región en movimiento que represente la trayectoria, se asociará la semántica a cada punto asociado a la región y que forma parte de una trayectoria de puntos en movimiento. Recordemos que se puede asociar varios niveles de información a una sola trayectoria, o también, se pueden asociar varias trayectorias de puntos en movimiento a una trayectoria de región en movimiento.

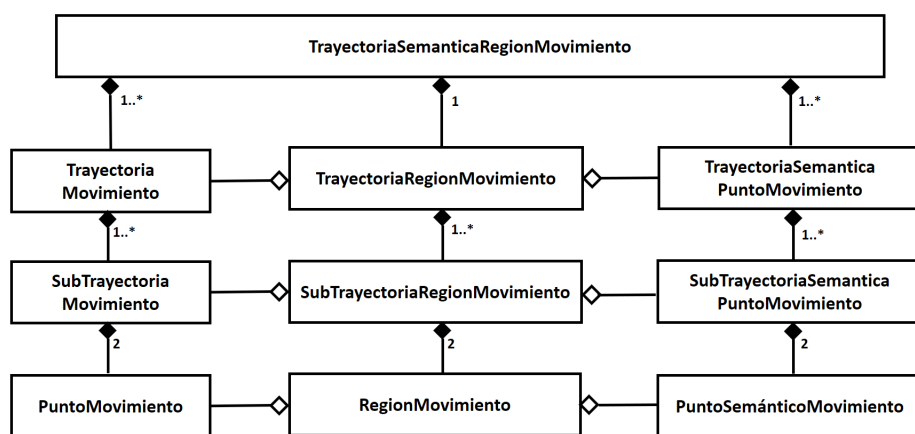


Figura 4 – Modelo básico de trayectoria semántica de región en movimiento.

5. Caso de estudio: crecimiento urbano de Bogotá D. C.

Como caso práctico, se implementa el modelo semántico para la trayectoria del crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá. Se toma como ejemplo las instancias de Bogotá en los años 1797, 1849, 1894, 1907 y 1928, para la generación de la trayectoria de la región en movimiento. La fuente de información es variada, inicialmente de mapas cartográficos de la ciudad, los cuales se georeferenciaron digitalmente, y se complementará con imágenes de satélite para los años recientes, se desarrolló una aplicación en posgreSQL para la clasificación de imágenes en la base de datos a fin de generar las instantáneas necesarias (Murillo Castañeda & Ortiz Dávila, 2019).

5.1. Trayectoria del crecimiento de Bogotá

La trayectoria se genera siguiendo la arquitectura propuesta por Ortiz y Medina en (Dávila & Daza, 2017) y (Ortiz & Medina, 2017), donde se construyen subtrayectorias entre las instantáneas de los años mencionados, cada subtrayectoria consta de dos

instantáneas de años consecutivos, se genera una superficie poliedrica que va cubriendo los bordes entre las dos instantáneas temporales de Bogotá como lo muestra la figura 5.

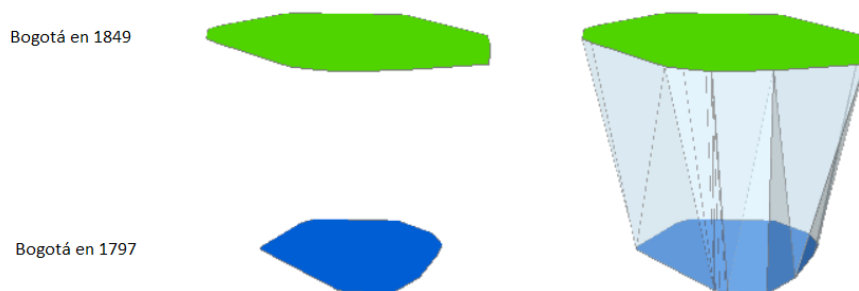


Figura 5 – Sub-trayectoria entre las instantáneas de Bogotá en 1797 y 1849.

De esta manera se terminan de construir las cuatro sub-trayectorias entre las cinco instantáneas, almacenando en la base de datos una trayectoria general que se puede apreciar en la figura 6.

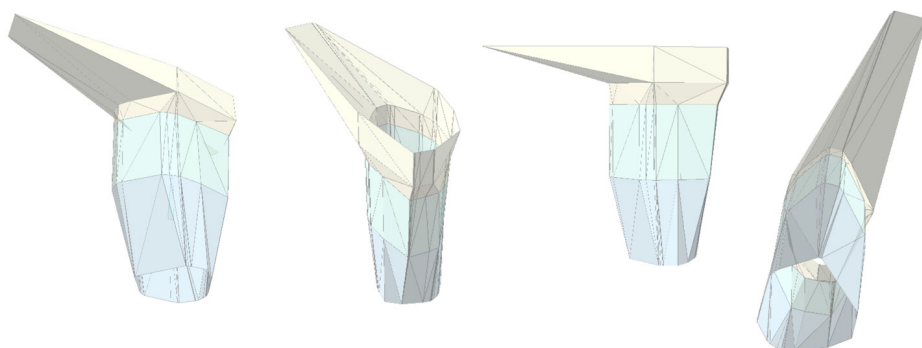


Figura 6 – Diferentes vistas de la trayectoria de la región en movimiento.

5.2. Semántica para el crecimiento de Bogotá

Como se mencionó anteriormente, la semántica de la trayectoria se trata de adicionar nueva información a la trayectoria generada por el movimiento de la región, la información puede variar respecto a los diferentes análisis que se desean realizar sobre la trayectoria, de hecho, puede adicionarse de forma incremental, y combinar los resultados, para el caso del ejemplo del caso de estudio, se adicionará información de la población, inclusive se puede discriminar entre hombres y mujeres, niños adultos y tercera edad, etc. También se puede asociar información de escolaridad de la población, para ampliar los análisis que se hacen con la población. Por último, asociamos información financiera de Bogotá, como ingresos de la ciudad, gastos en salud, educación, nivel de endeudamiento, etc. En la figura 7, podemos ver el modelo ampliado para la semántica de la trayectoria de la región en movimiento.

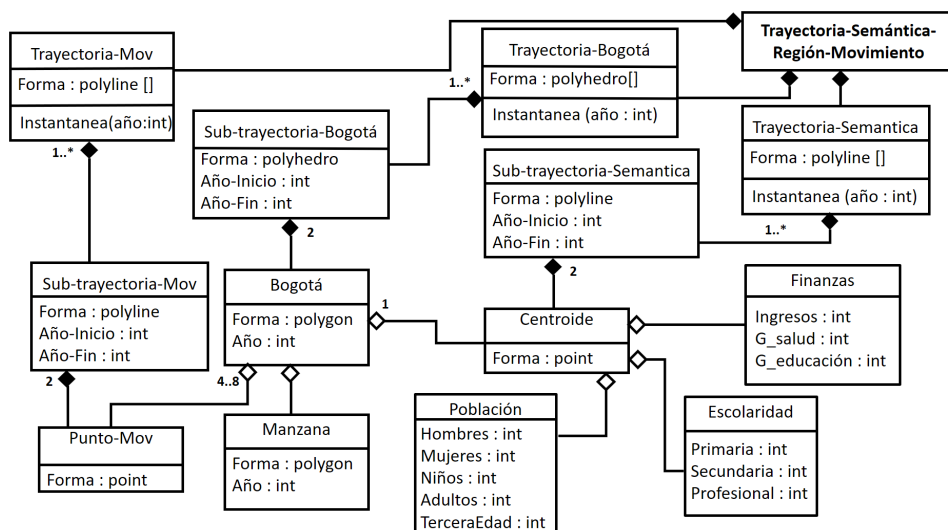


Figura 7 – Modelo semántico para la trayectoria del crecimiento urbano de Bogotá.

La información de nivel semántico del contexto de la región en movimiento, se asocia a cada centroide de las instancias de la región en movimiento. La figura 8(a) muestra los centroides de cada región. Teniendo los centroides, se genera una sub-trayectoria, que corresponde a una línea entre cada par de centroides consecutivos temporalmente. La figura 8(b) muestra las trayectorias entre los centroides de la región en movimiento.

Cada centroide se identificará con el año correspondiente a la instantánea de la región, y la información del contexto semántico, será almacenada en un esquema de tablas en la base de datos con la referencia al año, para asociarlo al centroide respectivo, y por ende a la trayectoria semántica.

A cada sub-trayectoria se le asocia información de los cambios entre las instancias de los centroides asociados a las sub-trayectorias, como crecimiento de población, diferencias de crecimientos entre hombres y mujeres, o de niños y personas en la tercera edad. Como también las diferencias en inversión en educación y se hay o no correlación entre la inversión en educación y el crecimiento en los niveles de secundaria o profesional.

Tendiendo ya representada la información, el paso siguiente será realizar los diferentes análisis de la información para caracterizar y generar nuevo conocimiento, pero como se indicó al inicio, se sale del propósito del artículo.

Para el análisis del nivel semántico del movimiento de la región, algunas veces será suficiente con mirar los cambios de posición entre los centroides de cada sub-trayectoria, ya que al ser el centroide de la región, su desplazamiento indicará la dirección donde ha crecido más. Sin embargo, puede ser insuficiente y requerirse un análisis más detallado, entonces se procede a determinar los puntos extremos de cada instantánea de la región de la siguiente forma:

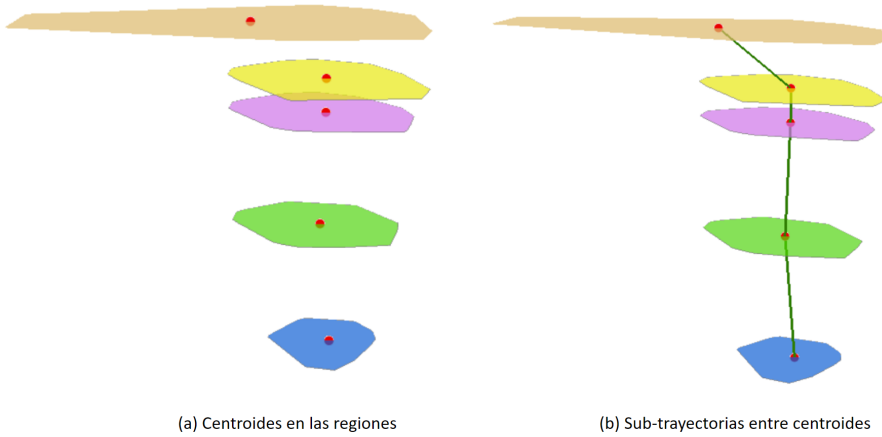


Figura 8 – (a) Centroides. (b) Sub-trayectorias de la región en movimiento.

1. Se determinan los valores máximos y mínimos de las coordenadas X y Y
2. Se genera un rectángulo mínimo envolvente, a partir de las coordenadas identificadas en el paso 1
3. Se generan los puntos más extremos del rectángulo, que corresponden a los vértices y los puntos medios de cada lado
4. Se identifica el punto más cercano de la región a cada uno de los puntos generados en el paso 3
5. Se realiza el procedimiento por cada región de la sub-trayectoria de la región en movimiento (pasos del 1 al 4), y se crea una sub-trayectoria de punto en movimiento por cada uno de los 8 puntos creados, al punto equivalente entre las dos regiones.

Podemos definir tres tipos de resolución respecto a la semántica del movimiento, la primera con una resolución baja, que comprende sólo el análisis con los centroides de la región en movimiento. La segunda, con una resolución media con el centroide y los lados del rectángulo mínimo envolvente de la región en movimiento. La tercera, con una resolución alta con el centroide, los vértices y los lados del rectángulo mínimo envolvente, para el análisis del movimiento de la región. Ver figura 9.

Finalmente, las sub-trayectorias entre los puntos de intersección y las instantáneas de las regiones en movimiento, caracterizarán la dinámica del movimiento mismo entre cada instantánea de la región, y unida con la información asociada al centroide y su posición, se podrá determinar la dirección de movimiento o expansión. En caso de necesitarse una mayor resolución del movimiento, se podrá generar 8 puntos en lugar de 4, para determinar las direcciones de movimiento hacia el norte, nor-este, este, sur-este, sur, sur-oeste, oeste y nor-oeste. La figura 10 muestra las subtrayectorias para la semántica del movimiento.

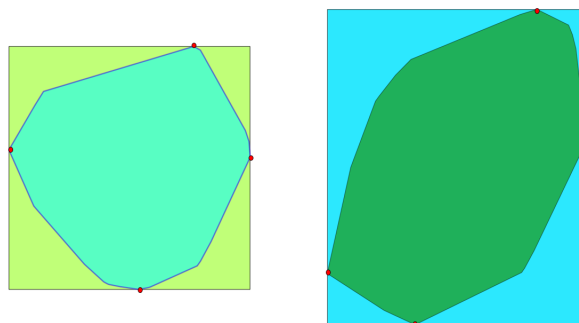


Figura 9 – Selección de puntos en las instantáneas de la región, para una resolución media.

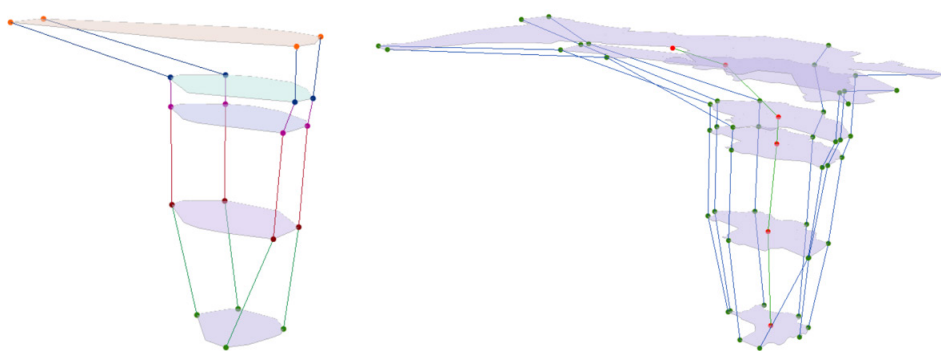


Figura 10 – Sub-trayectorias para la semántica del movimiento, resolución media y alta

6. Conclusiones

Hemos mostrado cómo se puede adicionar una semántica del movimiento de la región y del contexto de la región a una trayectoria de región en movimiento, aplicando un modelo general definido que se basa en trayectorias de puntos en movimiento. Al juntar todas las trayectorias de puntos en movimiento y asociándolas a la trayectoria de la región en movimiento, obtenemos la trayectoria semántica de la región en movimiento. Una de las ventajas de tener una trayectoria continua del movimiento, es que se puede consultar cualquier tiempo durante el período de la trayectoria, esto es que se puede generar una nueva instantánea, como en el trabajo de (Mckennney & Frye, 2015), interpolando la geometría espacial y la información semántica del contexto del movimiento, para realizar estimaciones de las diferentes variables almacenadas en la base de datos. Los cálculos se realizan mediante procedimientos almacenados que se ejecutan al momento de crear la instantánea intermedia en alguna de las sub-trayectoria de la región en movimiento.

Referencias

- Alvares, L. O., Bogorny, V., Kuijpers, B., de Macedo, J. A. F., Moelans, B., & Vaisman, A. (2007). A Model for Enriching Trajectories with Semantic Geographical Information. *Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 22:1–22:8. <https://doi.org/10.1145/1341012.1341041>
- Bogorny, V., Heuser, C. A., & Alvares, L. O. (2010). A Conceptual Data Model for Trajectory Data Mining. En S. I. Fabrikant, T. Reichenbacher, M. van Kreveld, & C. Schlieder (Eds.), *Geographic Information Science* (pp. 1-15). https://doi.org/10.1007/978-3-642-15300-6_1
- Bogorny, V., Renso, C., de Aquino, A. R., de Lucca Siqueira, F., & Alvares, L. O. (2014). CONSTAnT - A Conceptual Data Model for Semantic Trajectories of Moving Objects. *Transactions in GIS*, 18(1), 66-88. <https://doi.org/10.1111/tgis.12011>
- Dávila, A. E. O., & Daza, R. J. M. (2017). Spatio-temporal dynamic of geographic object by means of trajectories in spatial database. *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-6. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2017.7975698>
- Forlizzi, L., Güting, R. H., Nardelli, E., & Schneider, M. (2000). A Data Model and Data Structures for Moving Objects Databases. *Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 319–330. <https://doi.org/10.1145/342009.335426>
- Güting, R. H., & Schneider, M. (2005). *Moving Objects Databases*. Amsterdam : Boston: Morgan Kaufmann.
- Güting, R. H., Valdés, F., & Damiani, M. L. (2015). Symbolic Trajectories. *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst.*, 1(2), 7:1–7:51. <https://doi.org/10.1145/2786756>
- Mckennney, M., & Frye, R. (2015). Generating Moving Regions from Snapshots of Complex Regions. *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst.*, 1(1), 4:1–4:30. <https://doi.org/10.1145/2774220>
- Murillo Castañeda, R. A., & Ortiz Dávila, A. E. (2019). Máquinas de Soporte Vectorial para Clasificación Supervisada de Imágenes en Bases de Datos Espaciales. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E17, 538-551.
- Ortiz, Á. E., & Medina, R. J. (2017). Una arquitectura para representar trayectorias de objetos espaciales en bases de datos de objetos en movimiento. *Redes de Ingeniería*, 155-162. <https://doi.org/10.14483/2248762X.12487>
- Parent, C., Spaccapietra, S., Renso, C., Andrienko, G., Andrienko, N., Bogorny, V., ... Yan, Z. (2013). Semantic Trajectories Modeling and Analysis. *ACM Comput. Surv.*, 45(4), 42:1–42:32. <https://doi.org/10.1145/2501654.2501656>
- Pelekis, N., & Theodoridis, Y. (2014). *Mobility Data Management and Exploration*. Recuperado de <https://www.springer.com/gp/book/9781493903917>

- Spaccapietra, S., Parent, C., Damiani, M. L., de Macedo, J. A., Porto, F., & Vangenot, C. (2008). A Conceptual View on Trajectories. *Data Knowl. Eng.*, 65(1), 126–146. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2007.10.008>
- Tietbohl Palma, A., Bogorny, V., Kuijpers, B., & Alvares, L. (2008, marzo 16). *A clustering-based approach for discovering interesting places in trajectories*. 863-868. <https://doi.org/10.1145/1363686.1363886>
- Valdés, F., Damiani, M. L., & Güting, R. H. (2013). Symbolic Trajectories in SECONDO: Pattern Matching and Rewriting. En W. Meng, L. Feng, S. Bressan, W. Winiwarter, & W. Song (Eds.), *Database Systems for Advanced Applications* (pp. 450-453). Springer Berlin Heidelberg.
- Yan, Z., Chakraborty, D., Parent, C., Spaccapietra, S., & Aberer, K. (2011). SeMiTri: A Framework for Semantic Annotation of Heterogeneous Trajectories. *Proceedings of the 14th International Conference on Extending Database Technology (EDBT 2011)*, 259-270.
- Zheng, Y., & Zhou, X. (2011). *Computing with Spatial Trajectories* (1st ed.). Springer Publishing Company, Incorporated.

Implementación de e-servicios por niveles de desarrollo en el e-gobierno municipal: Estudio de casos

Vicente Morales^{1,2}, Sussy Bayona¹

jose.morales1@unmsm.edu.pe, sbayonao@hotmail.com

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Germán Amézaga s/n, 15081, Lima, Perú.

² Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 450–464

Resumen: Un estudio de casos es un método de investigación de ciertos hechos reales desarrollados en un período determinado. El objetivo principal de este estudio es la determinación del nivel de desarrollo del e-gobierno municipal. La información requerida fue recopilada a través de entrevistas semiestructuradas y encuestas. La información recopilada fue analizada y comparada, y se constituyó en la evidencia para establecer los hallazgos y conclusiones. Se analizó la influencia de los factores en la implementación de e-servicios, dando como resultado que existe diferentes reacciones en cada estudio de casos. Con la aplicación del modelo de factores por niveles de madurez se logró una mejora considerable en el desarrollo del e-gobierno, tanto en forma global como por niveles de desarrollo.

Palabras-clave: e-gobierno; e-servicios; estudio de casos; gobiernos locales.

Implementation of e-services by levels of municipal e-government development: Case studies

Abstract: A case study is a method of investigating certain real events developed in a given period. The main aim of this paper is the determination of the level of municipal e-government development. The main aim of this paper is research about the municipal e-government development. The required information was collected through semi-structured interviews and surveys. The information collected was analyzed and compared, and it was constituted in the evidence to establish the findings and conclusions. The influence of the factors in the implementation of e-services was analyzed, resulting in different reactions in each case study. With the application of the factor model by maturity levels, a considerable improvement in the development of e-government was achieved, both globally and by levels of development.

Keywords: e-government; e-services; case studies; local governments.

1. Introducción

La difusión de la información pública a través de los medios electrónicos proporciona transparencia administrativa y permite incrementar la legitimidad de las administraciones públicas al facilitar a los ciudadanos que participen en los asuntos públicos y que los poderes estatales puedan rendir cuentas de su actuación a los ciudadanos. La difusión de la información generada en las municipalidades está normada por varias Leyes, Reglamentos y Normativas con el fin de asegurar que dicha información esté disponible a la ciudadanía (Armas, Morales, & Bayona, 2016).

El presente estudio tiene como objetivo principal explorar un modelo que contextualice la influencia de los factores críticos en la presencia de e-servicios en el desarrollo del e-gobierno municipal. La estructura del e-gobierno municipal se ajusta a la propuesta de un modelo de desarrollo de e-gobierno por etapas de madurez. El tipo de estudio a utilizar es cualitativo y cuantitativo, y busca la interpretación de un fenómeno en su entorno natural. Para recabar información específica se utilizaron entrevistas semiestructuradas y encuestas para conocer información de carácter general del e-gobierno municipal y que mida las principales dimensiones de influencia de factores en los niveles de desarrollo de e-gobierno.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan el marco teórico. En la sección 3 se presenta la metodología de investigación. En la sección 4 se desarrolla la investigación a través de estudio de casos. En la sección 5 se presenta el análisis e interpretación de datos. En la sección 6 se presentan los resultados y la discusión. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección 7.

2. Marco teórico

2.1. Desarrollo del E-Gobierno Municipal

Las TIC son parte de un modelo propio de gestión pública, caracterizado por la oferta de servicios hacia el ciudadano, la profesionalización de la gestión, y la descentralización territorial y funcional (Esteves, 2005). Las siguientes son algunas de las razones para construir un e-gobierno centrado en el entorno municipal:

- El e-gobierno permite usar la tecnología Web y las redes telemáticas como alternativa de comunicación entre el municipio y los ciudadanos.
- Los e-servicios del municipio permiten a la administración pública local optimizar sus recursos humanos, técnicos y presupuestarios.
- El uso apropiado de las TIC permite un manejo eficiente y eficaz de la información de la administración y de los ciudadanos.
- El e-gobierno se constituye en una administración que está siempre disponible para el ciudadano (Naser y Concha, 2011).

A nivel mundial, se observa una mejora significativa en el desarrollo del e-gobierno en las dos últimas décadas. La encuesta de 2018 destaca una tendencia global positiva

persistente hacia niveles más altos de desarrollo del e-gobierno, donde 40 países puntúan “Muy alto” en comparación con 29 países en 2016 y 10 países en 2003 (United Nations, 2018). En el continente americano ha tenido una mejora en el desarrollo del e-gobierno en 2018. Uruguay pasó de un país con un nivel de índice alto a un nivel de índice muy alto en 2018.

Las Naciones Unidas utiliza los siguientes rangos de puntuaciones (índices) para categorizar por niveles el desarrollo de e-gobierno a sus 193 Estados miembros:

- Nivel “Muy Alto” → puntuaciones en el rango de 0.75 a 1.00
- Nivel “Alto” → puntuaciones en el rango de 0.50 a 0.75
- Nivel “Medio” → puntuaciones en el rango de 0.25 a 0.50
- Nivel “Bajo” → puntuaciones en el rango de 0.00 a 0.25

2.2. E-Servicios

Internet en las sociedades de la información se ha convertido en un canal esencial que se utiliza para la difusión de información, productos y servicios. Los gobiernos de todo el mundo están desarrollando e-servicios que tienen la capacidad de satisfacer nuevas necesidades de los ciudadanos. Los ciudadanos esperan y demandan servicios gubernamentales con un alto grado de calidad, cantidad y disponibilidad 24/7 (Löfstedt, 2005). Un indicador presentado en los estudios de las Naciones Unidas evalúa el nivel de “presencia” del e-gobierno de cada país en la web con base en la profundidad y la variedad de los servicios ofertados por el e-gobierno (Triana, Escobar, & Netto, 2007)

2.3. Método de estudio de casos

Un caso es una unidad o entidad sistémica, identificada en sus límites y características, y ubicada en relación a su contexto (Stake, 2006). Un “caso” se conoce como el objeto del estudio (por ejemplo, un proyecto) y contiene una o más unidades de análisis (por ejemplo, subproyectos). Los datos se recopilan de los sujetos del estudio, es decir, los que proporcionan la información. Los datos pueden ser cuantitativos (números, medidas) o cualitativos (palabras, descripciones) (Runeson & Höst, 2009).

Un estudio de caso es una investigación holística que investiga un fenómeno contemporáneo dentro de su entorno natural (Harling, 2002). Un estudio de caso se considera como un método de investigación y que es “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en profundidad dentro de su contexto de la vida real, especialmente cuando los límites entre fenómeno y contexto no son claramente evidentes” (Yin, 2003; Yin, 2009).

El análisis de datos se realiza de manera diferente para los datos cuantitativos y cualitativos. Para los datos cuantitativos, el análisis generalmente incluye análisis de estadísticas descriptivas, análisis de correlación, desarrollo de modelos predictivos y pruebas de hipótesis. Todas estas actividades son relevantes en la investigación de casos de estudio (Runeson & Höst, 2009). Los tamaños de muestra comunes en estudios cualitativos varían dependiendo del tipo de estudio, pero para el caso específico de estudio de casos se recomienda un tamaño mínimo de muestra sugerido

de tres a cinco, y para diversos estudios cualitativos no hay parámetros definidos ni precisos (Hernández et al., 2014).

2.4. Marco Legal o Regulatorio

La difusión de la información generada en los gobiernos municipales está normada por varias Leyes, de tal manera que las Unidades Poseedoras de la Información (UPI) son las encargadas de generar, producir y custodiar la información Institucional que tenga el carácter de pública (LOTAIP, 2004). Estas leyes son las siguientes:

- Constitución Política de la República del Ecuador (2008)
- Plan Nacional de Desarrollo. Toda una Vida. 2017-2021 (PND, 2017)
- Plan Nacional de Gobierno Electrónico 2018-2021 (PNGE, 2018)
- Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LOTAIP, 2004)
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo (LOOTUGS, 2016)
- Ley de Comercio Electrónico, firma electrónica y mensajes de datos (LCEFE, 2002)
- La Ley Orgánica de Participación Ciudadana (LOPC, 2011)

3. Metodología

Debido a que el propósito del estudio es identificar el grado de presencia de e-servicios con respecto a la implementación de e-servicios por niveles de desarrollo de e-gobierno, se ha elegido un enfoque de estudio de casos basado en entrevistas semiestructuradas, cuestionarios cerrados y datos secundarios (Dubé y Paré, 2003). Por lo tanto, la unidad de análisis es la implementación de una importante iniciativa de e-gobierno en las municipalidades que se investiga como un solo caso (Yin, 2003).

3.1. Definición de la estructura del proceso de investigación

El proceso es casi similar para cualquier tipo de estudio empírico. Sin embargo, como la metodología de estudio de casos es una estrategia de diseño flexible, existe una cantidad significativa de interacción sobre los pasos (Andersson & Runeson, 2007b). La estructura del estudio de casos se basó en la integración de elementos propuestos por Stake (2006), Hernández Sampieri y Mendoza (2008), Runeson & Höst (2009), y Yin (2014). Los componentes considerados son los siguientes:

- Diseño del estudio de casos
- Identificación del caso
- Preguntas de investigación
- Objetivos
- Unidad de análisis
- Contexto del caso o casos
- Recolección de datos o evidencias
- Análisis e interpretación de datos
- Resultados

3.2. Diseño del estudio de casos

Para cumplir con el objetivo de la presente investigación se eligió un enfoque de estudio de casos, lo cual es recomendable para la investigación en e-gobierno (Bélanger & Carter, 2009; Franke et al., 2015). El objetivo del estudio es determinar el desarrollo del e-gobierno municipal en base a la utilización de un modelo de e-gobierno por etapas, un modelo conceptual de factores y niveles de desarrollo de e-gobierno (Morales & Bayona, 2019b), y en base a la influencia que ejercen los factores críticos en cada uno de los niveles de madurez del e-gobierno.

El tipo de investigación es cuantitativo y descriptivo, y el diseño de la investigación es no experimental y transversal. Se recomienda utilizar el “cómo” y “por qué” para plantear las preguntas de investigación en los estudios de casos (Yin, 2009). La recolección de datos se basa en entrevistas semiestructuradas y datos secundarios previamente recopilados a través de encuestas. La unidad de análisis está relacionada con la definición del “caso” y también está relacionada con la forma en que se han definido las preguntas de investigación iniciales (Yin, 2009).

4. Estudio de Casos

En el presente estudio se considera un solo caso, aunque el estudio completo está proyectado para una muestra con 5 unidades de análisis.

4.1. Identificación del caso

El e-gobierno municipal de Tisaleo, basado en estudios anteriores (Bayona & Morales, 2017b), presenta un nivel medio de desarrollo (0.26) correspondiente a al rango de puntuaciones de 0.25 a 0.50, según los rangos de United Nations (2018).

4.2. Preguntas de investigación

¿Cómo al aplicar el modelo conceptual integrado de e-gobierno y la influencia de factores, permitirá mejorar el desarrollo de los e-servicios municipales?

¿Porqué al implementar los e-servicios para uso de la ciudadanía, mejorará el desarrollo del e-gobierno municipal?

4.3. Objetivos

Los objetivos planteados en el estudio de casos son los siguientes:

- Aplicar el modelo conceptual integrado de e-gobierno a través de la identificación de factores, que permita mejorar la prestación de e-servicios en las municipalidades.
- Implementar los e-servicios en los municipios objetos de estudio, con el fin de mejorar el desarrollo del e-gobierno.
- Determinar el nivel de desarrollo del e-gobierno municipal en forma global y en forma específica por etapas de madurez.

4.4. Unidad de análisis

Desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo, 2019

4.5. Contexto del caso

4.5.1. Antecedentes:

- Municipio cantonal: Tisaleo
- Ubicación: Sur occidente de la Provincia de Tungurahua, Ecuador
- Fundación como cantón: 17 de noviembre de 1987
- Población: 12137 habitantes (INEC Censo 2010)
14148 habitantes (INEC Proyección 2019)
- Superficie: 59.2 Km²
- Densidad poblacional: 205.64 Hab/Km²
- Altitud: 3245 msnm
- Coordenadas geográficas: 1°21'00"S 78°40'00"O
- Alcalde de Tisaleo: Dr. Víctor Zumba (Período 15/Mayo/2019 al 14/Mayo/2023)
- Responsable TIC: Unidad de Tecnología, Ing. Hugo Freire
- Actividad Económica: Agricultura, ganadería, lácteos, calzado

4.5.2. Estructura orgánica funcional:

El ente responsable de TIC en el GAD Municipal de Tisaleo es el Área Tecnológica, estructuralmente es parte del orgánico funcional de la institución. Conforme al Artículo 7, literal a1 de la LOTAIP (2004) los municipios tienen la obligación de difundir en los sitios web institucionales su estructura orgánica funcional (ver en www.tisaleo.gob.ec).

4.5.3. Interés investigativo y permisos

Las autoridades definieron el interés por la propuesta de investigación, por lo que se requiere conocer en detalle las características de las deficiencias del funcionamiento del e-gobierno, su estructura, sus componentes, etc. Es decir, se requiere un diagnóstico previo, para plantear la posibilidad de mejorar su índice de e-gobierno a través de una investigación de estudio de caso. Por lo tanto, se solicitó la autorización a las máximas autoridades para ejecutar el proyecto planteado, la cual fue concedida.

5. Análisis e interpretación de datos

5.1. Diagnóstico inicial del desarrollo del e-gobierno de Tisaleo

Basado en estudios anteriores (Bayona & Morales, 2017b) se determinó ciertas limitaciones como el índice de e-gobierno de Tisaleo que tiende a un valor bajo (0.26). Se dio inicio a la investigación del estudio de caso por medio de visitas a la Alta dirección

y a funcionarios del Área Tecnológica a los cuales se les aplicó una entrevista con el fin de recabar información de la realidad del e-gobierno municipal. De la información recopilada se puede deducir que el e-gobierno de Tisaleo adolecía de muchas falencias, por cuanto a más de no difundir todos los servicios básicos de carácter informativo a través de su sitio web cuya difusión es de carácter obligatorio, tampoco tiene disponibilidad de e-servicios en niveles de desarrollo superiores.

En el diagnóstico realizado previo a la implementación de e-servicios (pre-implementación) para evaluar el nivel de desarrollo del e-gobierno municipal, se utilizó el modelo de e-gobierno basado en Morales & Bayona (2018a), la obtención y análisis de datos para evaluar los e-servicios se realizó siguiendo el procedimiento indicado por Bayona & Morales (2017b), y para determinar y comparar el desarrollo del e-gobierno entre municipios se determinó el índice de e-gobierno según las métricas y el procedimiento indicado en Morales & Bayona (2017).

Índices de desarrollo en la pre-implementación:

Los resultados globales obtenidos a través de la evaluación del desarrollo del e-gobierno de Tisaleo corresponden a un índice inicial de desarrollo de e-gobierno de 0.30 que corresponde a un Nivel “Medio” según el rango de puntuaciones de United Nations (2018). Los resultados por niveles de desarrollo del e-gobierno de Tisaleo, se pueden visualizar de dos maneras, tanto en forma individual como parcial (ver Figura 1).

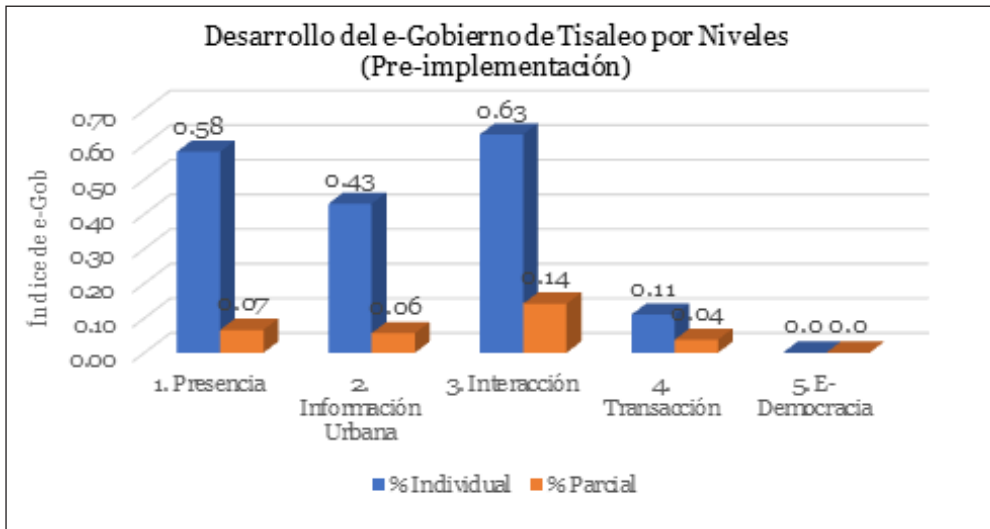


Figura 1 – Índices iniciales por niveles del e-gobierno de Tisaleo

5.2. Influencia de factores por niveles en la implementación de e-servicios

Previo a la implementación de los e-servicios en cada nivel de desarrollo de e-gobierno se debe tomar en cuenta estudios anteriores como: 1) El estudio realizado acerca de factores y su influencia en los niveles de desarrollo de e-gobierno municipal (Morales

& Bayona, 2019b) donde se determinó los factores más influyentes por cada etapa de desarrollo, y 2) El estudio relacionado con e-servicios ofertados a la ciudadanía, determinados en base a la aplicación del modelo conceptual de e-gobierno, cuyos datos fueron recolectados y tabulados basados en Morales & Bayona (2018a). Los factores jugaron un papel significativo en la implementación de los e-servicios municipales y sus resultados serán de gran utilidad para la toma de decisiones de la Alta dirección. El análisis de los factores más influyentes por cada nivel de desarrollo del e-gobierno municipal se analiza a continuación:

5.2.1. Nivel 1 – Etapa de Presencia:

Para lograr la implementación de e-servicios en el primer nivel del e-gobierno fue necesario utilizar varias estrategias como por ejemplo socializar la importancia de difundir las actividades desarrolladas por la municipalidad para el conocimiento del ciudadano, para lo cual fue necesario el compromiso político y la buena voluntad de la Alta dirección para lograr el objetivo. La Alta dirección, a su vez, delegó a la Dirección de TIC que lidere el proceso para llevar a cabo la implementación de los e-servicios requeridos por el municipio. Cabe recalcar que también fue necesario considerar el marco legal en la implementación, ya que la difusión de determinada información generada en el municipio es de carácter mandatorio y no voluntario, conforme a lo indicado en el Art. 7 de la LOTAIP (2004).

5.2.2. Nivel 2 – Etapa Información Urbana:

Para lograr la implementación de e-servicios en el segundo nivel de e-gobierno fue necesario reuniones con quienes lideran el nivel ejecutivo del municipio cantonal de Tisaleo, logrando el compromiso político y el apoyo de la alta dirección en la ejecución del proyecto. En esta etapa también fue necesario recordar que la difusión de determinada información generada por el municipio es de carácter mandatorio conforme al marco legal indicado en el Art. 7 de la LOTAIP (2004). Además, se recurrió a un proceso de capacitación dirigido a los funcionarios de TIC, especialmente en la comprensión de la estructura del modelo integral de e-gobierno, las ventajas en la implementación de los e-servicios y la socialización correspondiente.

5.2.3. Nivel 3 – Etapa Interacción:

Para lograr la implementación de e-servicios en el tercer nivel del e-gobierno fue necesario optar por varias estrategias establecidas conjuntamente con los responsables de TIC como el contar primeramente con el apoyo de la alta dirección para continuar con el proceso de implementación. En esta fase también tuvo importancia el análisis de los paradigmas enraizados en la cultura de las personas con el fin de intentar un cambio y aprovechar la disponibilidad de servicios a través de medios electrónicos, para lo cual fue muy importante el liderazgo del personal administrativo que está más cerca y en contacto con los usuarios. El marco legal también tuvo su influencia en el instante de buscar la interacción electrónica entre municipio y ciudadanía, conforme a la Ley de Comercio Electrónico, Firmas y Mensajes de datos (LCEFE) que regula los mensajes de datos, firma electrónica, servicios de certificación, prestación de servicios electrónicos, etc. (LCEFE, 2002).

5.2.4. Nivel 4 – Etapa Transacción:

La implementación de e-servicios en el cuarto nivel del e-gobierno tuvo la coyuntura de varios factores y circunstancias donde el punto de partida fue la necesidad ciudadana por una nueva opción de realizar los trámites municipales. Incidió mucho el liderazgo de la gente de TIC y el compromiso político de querer innovar a través de la concientización tanto de empleados como de ciudadanos lo cual es responsabilidad de los personeros municipales. Debido al factor financiero que incide mucho en la implementación de determinados e-servicios se optó por dar un primer paso en los procesos de transacciones iniciando con los trámites de consulta en línea.

5.2.5. Nivel 5 – Etapa e-Democracia:

La implementación de e-servicios en el último nivel del e-gobierno fue importante también la coyuntura de factores que permitieron dar un primer paso para cumplir con el marco legal previsto en la Ley Orgánica de Participación Ciudadana (LOPC, 2011) donde por ejemplo el Art. 21 indica que la ciudadanía podrá solicitar la convocatoria a consulta popular sobre cualquier asunto de interés colectivo. Por lo que fue necesario la concientización en los líderes municipales de facilitar una herramienta tecnológica de fácil acceso para recoger el sentir ciudadano y que su opinión sea parte de la toma adecuada de decisiones. Con el compromiso político de la Alta dirección se optó por facilitar a la ciudadanía la opción de encuestas online como una estrategia para tratar de comprender las necesidades reales de la ciudadanía. En este caso, no tuvo mucha influencia factores como infraestructura, seguridad o aspectos financieros.

6. Resultados y discusión

6.1. Diagnóstico final del desarrollo de e-gobierno de Tisaleo

Posterior a la implementación (pos-implementación) de e-servicios, la obtención y análisis de datos previos a la evaluación de los e-servicios, se realizó siguiendo el procedimiento proporcionado por Bayona & Morales (2017b), y la evaluación del desarrollo de e-gobierno se determinó calculando el índice de e-gobierno municipal según las métricas y el procedimiento indicado en Morales & Bayona (2017). Además, se considerando la influencia de los factores críticos por niveles de desarrollo de e-gobierno (Morales & Bayona, 2019b) para determinar el índice de desarrollo de e-Gobierno municipal de Tisaleo.

Índices de desarrollo en la pos-implementación:

Los resultados globales (pos-implementación) obtenidos por el e-gobierno de Tisaleo corresponden a un índice final de desarrollo de e-gobierno de 0.59 que corresponde a un Nivel “Alto” según el rango de puntuaciones de United Nations (2018). Los resultados obtenidos por niveles de desarrollo del e-gobierno de Tisaleo, se presentan de dos maneras, en Forma Individual (etiquetado como Individual) y en Forma Parcial (etiquetado como Parcial) como se muestra en la Figura 2.

6.2. Implementación de e-servicios

En esta fase de análisis de los resultados de la implementación de e-servicios, también fue necesario puntualizar las exigencias del marco legal, ya que el PND (2017) tiene como una de sus metas a mediano plazo “Mejorar el índice de e-gobierno” en los diferentes niveles de e-gobierno, ya sea nacional, provincial, municipal o parroquial. La implementación de e-servicios y hallazgos correspondientes al e-gobierno municipal de Tisaleo se lo analiza por niveles de desarrollo, como se describe a continuación:

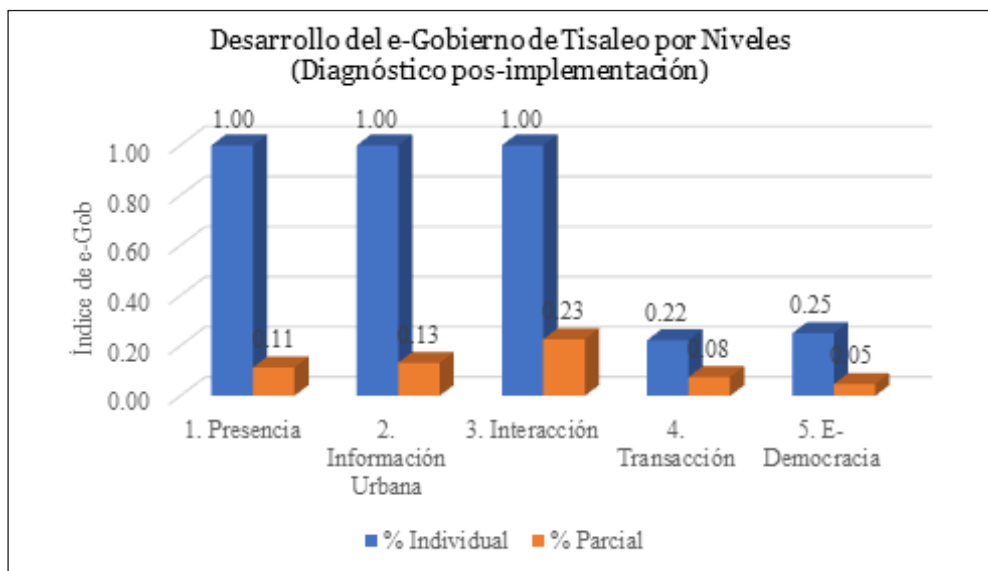


Figura 2 – Desarrollo de e-Gobierno por niveles de madurez de Tisaleo

6.2.1. Nivel 1 – Etapa de Presencia

Los e-servicios que se lograron implementar en el primer nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo son “Dirección institucional”, “Mapa Web” del sitio, “Fecha de actualización”, opción de “Contactos” y “Horario de atención” ciudadana. En la pre-implementación de e-servicios se obtuvo una puntuación inicial del 58%, y en la pos-implementación se obtuvo una puntuación final del 100%. Por lo tanto, se logró incrementar el Nivel 1 de desarrollo del e-gobierno en un 42%. Además, se alcanzó el nivel máximo en esta primera etapa que es del 100% (Ver Figura 3).

6.2.2. Nivel 2 – Etapa de Información urbana

Los e-servicios que se lograron implementar en el segundo nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo son “Transporte público”, “Agenda de eventos” y el acceso a una guía turística local a través de la opción “Turismo”. En la pre-implementación

de e-servicios se obtuvo una puntuación inicial del 43% y en la pos-implementación se obtuvo una puntuación del 100%. Por lo tanto, se logró incrementar el Nivel 2 de desarrollo del e-gobierno en un 57 %. Además, se alcanzó el nivel máximo permitido en esta segunda etapa que es del 100% (Ver Figura 3).

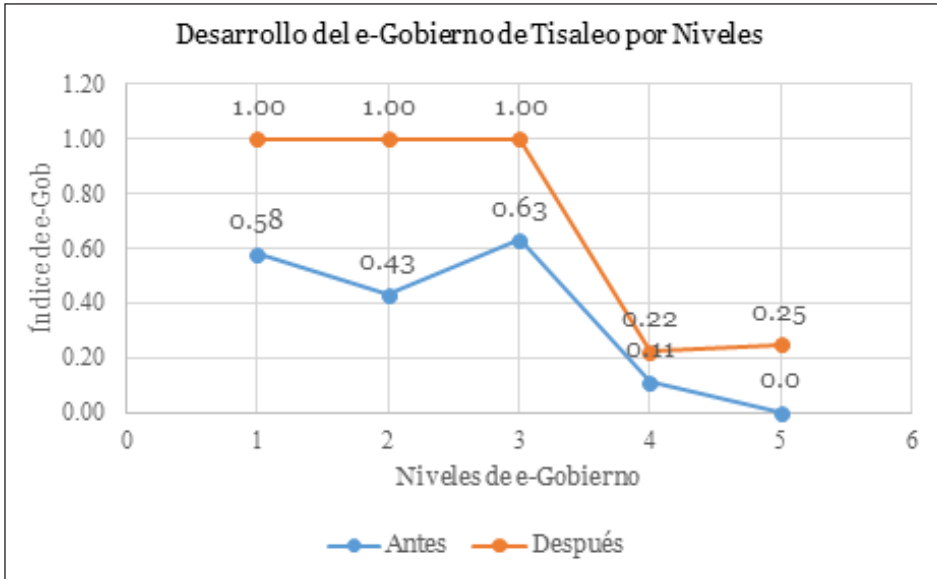


Figura 3 – El antes y el después en el desarrollo por niveles del e-gobierno de Tisaleo

6.2.3. Nivel 3 – Etapa de Interacción

Los e-servicios que se lograron implementar en el tercer nivel de desarrollo del e-gobierno de Tisaleo, son “Respuesta al correo electrónico”, “Preguntas Frecuentes (FAQs)” y opción para elegir otros “Idiomas” en la presentación del sitio web. En la pre-implementación de e-servicios se obtuvo una puntuación inicial del 63% y en la pos-implementación se obtuvo una puntuación final del 100%. Por lo tanto, se logró un incremento en el Nivel 3 de desarrollo del e-gobierno de un 37%. Además, se alcanzó el nivel máximo en esta tercera etapa que es del 100% (Ver Figura 3).

6.2.4. Nivel 4 – Etapa de Transacción

Los e-servicios que se lograron implementar en el cuarto nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo, corresponden a “Trámites en línea”. En la pre-implementación de e-servicios se obtuvo una puntuación inicial del 11%, y posterior a la implementación se obtuvo una puntuación final del 22%. Por lo tanto, se logró un incremento del cuarto Nivel de desarrollo del e-gobierno en un 11%. En este caso, no se alcanzó el máximo nivel en esta etapa (Ver Figura 3). El incremento no fue tan significativo del índice de e-gobierno de Tisaleo en esta etapa. Este resultado obtenido tiene relación con la complejidad tecnológica y recursos adicionales requeridos para la implementación de más e-servicios, así como también de la decisión política de la Alta dirección.

6.2.5. Nivel 5 – Etapa de e-Democracia

Los e-servicios que se lograron implementar en el quinto nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo, corresponden a “Encuestas”. Previo a la implementación de los e-servicios se obtuvo una puntuación inicial de 0%, y posterior a la implementación se obtuvo una puntuación final del 25%. Por lo tanto, un incremento del quinto nivel de desarrollo del e-gobierno en un 25%. En este caso, no se alcanzó el máximo nivel en esta etapa (Ver Figura 3). El incremento no fue tan significativo del índice de e-gobierno de Tisaleo en esta etapa. Este resultado obtenido tiene relación con la complejidad tecnológica y los recursos adicionales requeridos en la implementación de e-servicios adicionales, así como también de la decisión política de la Alta dirección.

6.3. Desarrollo global del e-gobierno de Tisaleo

En forma global, el desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo tuvo un incremento considerable, bajo las siguientes consideraciones: En el diagnóstico pre-implementación de e-servicios, la puntuación inicial fue del 30%. En el diagnóstico pos-implementación de e-servicios, la puntuación final fue del 59%. El incremento global del índice de desarrollo de e-gobierno fue del 29%. En este caso, se alcanzó un incremento muy significativo con relación a otros e-gobiernos municipales de la provincia considerando que es uno de los municipios que recibe una asignación presupuestaria muy baja de parte del Estado, en relación por ejemplo con las capitales de provincia (Ministerio de Economía y Finanzas, 2018). Los factores más significativos y de mayor influencia en la implementación de e-servicios, en el caso de Tisaleo, fueron el Compromiso político y el Apoyo de la Alta dirección que cumplieron un rol muy importante a la hora de la toma de decisiones.

6.4. Contestación a las preguntas de investigación

6.4.1. Contestación a la primera pregunta

Con la aplicación del modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno basado en Morales & Bayona (2018a), el cual fue integrado en el modelo conceptual de factores y su influencia en los niveles de desarrollo del e-gobierno municipal (Morales & Bayona, 2019b) se logró consolidar la implementación de e-servicios en el e-gobierno municipal de Tisaleo con logros positivos en su índice de desarrollo.

6.4.2. Contestación a la segunda pregunta

A través del proceso de investigación se diagnosticó un “antes” y un “después” en la implementación de e-servicios, lográndose resultados satisfactorios, ya que al implementar e-servicios adicionales, se ha incrementado los e-servicios disponibles para la ciudadanía; y de los resultados obtenidos se puede concluir que se ha mejorado significativamente el desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo a través de un incremento del índice de desarrollo en un 29%.

Discusión y trabajos futuros

La influencia de factores tiene una especial importancia a la hora de pretender mejorar el nivel de desarrollo del e-gobierno, ya que permitiría poner al servicio de la ciudadanía

nuevas opciones para tener acceso a la prestación de e-servicios que las instituciones públicas ofertan a través de las TIC. La caída de algunas posiciones en las clasificaciones no implica necesariamente que un gobierno local haya tenido un rendimiento inferior en un período de tiempo específico de encuesta, y una clasificación más alta tampoco significa resultados mejores o más deseables. Este estudio se lo realizó siguiendo las pautas de investigación de estudios de caso definidas por Yin (2014), sin embargo, tiene algunas limitaciones. Por lo tanto, se sugiere que se realicen estudios que comiencen con una prueba empírica y la fase de desarrollo de una iniciativa de e-gobierno se extienda a otras realidades municipales. Entre los requerimientos para estudios futuros también están en investigar las causas para la falta de oferta de servicios, la subutilización de e-servicios existentes y la mala experiencia de los usuarios con los trámites en línea. Además, a futuro se debe ampliar el estudio de múltiples casos, con el fin de realizar un análisis comparativo y fortalecer las iniciativas de lograr un e-gobierno municipal exitoso.

7. Conclusiones

En forma global, el desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo tuvo un incremento considerable. En el diagnóstico inicial o pre-implementación de e-servicios la puntuación inicial fue del 30%, y en la pos-implementación de e-servicios la puntuación final fue del 59%. El incremento global del índice de desarrollo de e-gobierno fue del 29%. Por lo tanto, se alcanzó un incremento muy significativo con relación a otros e-gobiernos municipales de la provincia. El incremento considerable del nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de Tisaleo, tanto en forma global o por etapas de madurez, se debe fundamentalmente a factores como la estrategia, el compromiso político y el liderazgo optado por la Alta dirección que influyeron especialmente en el personal de TIC para lograr avances significativos en la implementación de e-servicios para beneficio de la ciudadanía. La mejora en el desarrollo de e-gobierno se ve reflejado significativamente en los primeros niveles de madurez del e-gobierno donde determinados factores no incidieron considerablemente como el económico, la infraestructura TIC y el requerimiento de recursos humanos adicionales. Sin embargo, en los niveles superiores, los resultados no significaron un incremento considerable en el desarrollo del e-gobierno, ya que tiene relación con la complejidad tecnológica y los recursos económicos requeridos en el proceso de implementación, y que dependen también del compromiso político y liderazgo optado por la Alta dirección en la toma de decisiones.

Agradecimientos

El agradecimiento por el apoyo brindado en la investigación a la Universidad Técnica de Ambato, DIDE y Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Referencias

Andersson, C. and Runeson, P. (2007b). A spiral process model for case studies on software quality monitoring—method and metrics. *Softw Process Improv Pract* 12(2):125–140 doi:10.1002/spip.311

- Armas, N., Morales, V., & Bayona, S. (2016). Rules and policies for dissemination of digital public information in municipalities. 2016 3rd International Conference on EDemocracy and EGovernment, ICEDEG 2016, 54–59. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2016.7461696>
- Bayona, S., & Morales, V. (2017b). Maturity model for local E-Government: A case study. *ACM International Conference Proceeding Series*, Part F1280, 78–83. <https://doi.org/10.1145/3036331.3050419>
- Bélanger, F., & Carter, L. (2009). The impact of the digital divide on e-government use. *Communications of the ACM*, 52(4), 132–135. doi:10.1145/1498765.1498801
- Constitución Política de la República del Ecuador (2008).
- Dubé, L., & Paré, G. (2003). Rigor in information systems positivist case research: Current practices, trends, and recommendations. *Management Information Systems Quarterly*, 27(4), 597–635.
- Esteves, J. (2005). Análisis del desarrollo del gobierno electrónico municipal en España. Working Paper. IE Business School
- Franke, R., Kroenung, J., Born, F., & Eckhardt, A. (2015). Influential Factors for E-Government Success in the Middle East: Case Study Evidence from Saudi Arabia. *International Journal of Electronic Government Research (IJEGR)*, vol. 11, no. 1, pp. 39–62.
- Harling, K. (2002). Overview of Case Study. In *American Agricultural Economics Association* (pp. 1–7). Long Beach, California.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2008). El matrimonio cuantitativo cualitativo: el paradigma mixto. 6º Congreso de Investigación en Sexología. Tabasco, México.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edic). México: Mc Graw Hill.
- LCEFE (2002). Ley de Comercio Electrónico, firma electrónica y mensajes de datos.
- Löfstedt, U. (2005). E-Government - Assessment of Current Research and some Proposals for Future Directions. vol. 2005, pp. 39–52, 2005.
- LOOTUGS (2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo. Vigente desde 05-jul-2016. Ecuador
- LOPC (2011). Ley Orgánica de Participación Ciudadana. Vigente desde el 20-abr-2010, última modificación 11-may-2011. Ecuador
- LOTAIP (2004). Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública. Vigente desde 18-May-2004. Ecuador
- Ministerio de Economía y Finanzas (2018). Cálculo de las transferencias a favor de los GAD por concepto del modelo de equidad territorial con base a la recaudación efectiva de ingresos permanentes y no permanentes. Recuperado de <https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/10/Acuerdo-GAD.pdf>

- Morales, V., & Bayona, S. (2017c). Municipal E-government in the provincial capitals of Ecuador. *30th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, CAINE 2017*, 3–9.
- Morales, V., & Bayona, S. (2018a). *Evaluation Metrics of the Development of Municipal e-Government* (Vol. 206). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36981-0>
- Morales, V., & Bayona, S. (2019b). Modelo conceptual de factores y su influencia en los niveles de desarrollo del e-gobierno municipal. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*. In press.
- Naser, A. y Concha, G. (2011). El gobierno electrónico en la gestión pública. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile.
- PND (2017). Plan Nacional de Desarrollo. Toda una Vida. 2017-2021. Aprobado el 22-Sep-2017. Ecuador
- PNGE (2018). Plan Nacional de Gobierno Electrónico 2018-2021. Ecuador
- Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empir Software Eng*, 14, 131–164. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8>
- Stake, R.E. (2006). Multiple case study analysis. *The Guilford Press*, New York.
- Triana, H.S., Escobar, H.M. and Netto, S. (2007). Conceptualización de arquitectura de gobierno electrónico y plataforma de interoperabilidad para América Latina y el Caribe.
- United Nations (2018). E-government survey 2018. Retrieved from: [https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government Survey 2018_FINAL for web.pdf](https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government%20Survey%202018_FINAL%20for%20web.pdf)
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: *Sage Publications, Inc.*
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research. Design and Methods* (Fourth Edition). Thousand Oaks, CA: *Sage Publications*.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods* (Fifth edition). Thousand Oaks, CA: *Sage Publications, Inc.*

Optimización del filtrado colaborativo basado en factorización matricial mediante la relevancia de las preferencias de los usuarios

Priscila Valdiviezo-Díaz^{1,2}, Fernando Ortega², Jesús Mayor², Francisco Pajuelo-Holguera³

pmvaldiviezo@utpl.edu.ec, fernando.ortega@upm.es, jesus.mayor@upm.es,
franciscoph@unex.es

¹Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, 110104, Loja, Ecuador.

²Universidad Politécnica de Madrid, ETSI de Sistemas Informáticos, 28031, Madrid, España.

³Universidad de Extremadura, Madrid, España.

Pages: 465–478

Resumen: El filtrado colaborativo basado en factorización matricial se ha convertido en el método de referencia para la recomendación de productos o servicios debido a la alta precisión de las recomendaciones que genera. Estos métodos se encargan de factorizar la matriz que contiene las preferencias de los usuarios en dos nuevas matrices que simbolizan las propiedades de los usuarios y productos o servicios en un espacio de factores latentes. En este trabajo se propone un nuevo modelo de factorización matricial ponderado en función de la preferencia de los usuarios sobre los productos o servicios. Los resultados experimentales llevados a cabo sobre los conjuntos de datos de MovieLens 100K, MovieLens 1M y Netflix demuestran una clara mejoría en términos de calidad de predicciones y recomendaciones frente a otras técnicas de factorización matricial.

Palabras-clave: filtrado colaborativo; factorización matricial; descenso de gradiente; sistema de recomendación.

Collaborative filtering optimization based on matrix factorization through the relevance of user preferences

Abstract: Collaborative filtering based on matrix factorization has become the reference method for the recommendation of products or services due to the high precision of recommendations it generates. These methods factorizing the matrix that contains user preferences into two new matrices that symbolize the properties of users and products or services in a space of latent factors. This paper proposes a new matrix factorization model weighted according to the users' preference over products or services. The experimental results carried out on the datasets of MovieLens 100K, MovieLens 1M and Netflix demonstrate a clear improvement in terms of quality of predictions and recommendations compared to other matrix factorization techniques.

Keywords: Collaborative filtering; matrix factorization; gradient descent; recommendation system.

1. Introducción

El gran volumen de información disponible en Internet hace que los usuarios inviertan gran parte de su tiempo en buscar para obtener información relevante de esta red. Cada vez hay más productos y servicios disponibles en Internet que son de interés de los usuarios. En general, sus gustos y preferencias son diferentes y, a menudo, contrapuestos. De ahí que, los sistemas de recomendación (RS, por sus siglas en inglés) se hayan convertido en una alternativa para ayudar a los usuarios a obtener información precisa y personalizada de los grandes repositorios de información disponibles en Internet.

Los RS también son denominados filtros, ya que se encargan de filtrar la información irrelevante para los usuarios y dejan pasar únicamente aquella que les puede resultar de interés. Es por ello que los RS se clasifican como (Ricci2011 & Herlocker, 2004): filtrado basado en contenido (CBF, por sus siglas en inglés) y filtrado colaborativo (CF, por sus siglas en inglés). CBF utiliza el contenido de los productos o servicios a recomendar, denominados ítems, para predecir su relevancia respecto del perfil de un usuario, y sólo los ítems que tienen un alto grado de similitud con dicho perfil son recomendados (Chang & Hsiao, 2013). CF calcula las recomendaciones de cada usuario en función de la información de votos históricos. Este tipo de sistema de recomendación utiliza una matriz de votos dispersa en la que se almacena para cada usuario en que medida les gusta cada uno de los ítems disponibles (Bobadilla et al., 2013). Existen varios enfoques que pueden ser aplicados para el procesamiento de la matriz de votaciones utilizada en CF. Por un lado, tenemos enfoques basados en modelos y, por otro, enfoques basados en memoria. También existen métodos de filtrado híbridos (Li et al., 2017), los cuales combinan dos o más enfoques de recomendación para lograr un mejor funcionamiento del sistema. Estos sistemas tratan de sobreponerse a todas las limitaciones que tienen los demás tipos de sistemas de recomendación.

Los enfoques de CF basados en modelos son los que han alcanzado mejores resultados en términos de calidad de recomendaciones. El objetivo general de estos enfoques es construir un modelo de la matriz de votaciones a partir del cual generar las recomendaciones a los usuarios (Koren & Bell, 2009). Los métodos de factorización matricial (MF, por sus siglas en inglés) presentan las mejores prestaciones y, actualmente, atraen el interés de la comunidad científica (Hernando, Bobadilla & Ortega, 2016; Mnih & Salakhutdinov, 2008; Lee & Seung, 2001; Zhang et al., 2011). De acuerdo a (Zhang, Nikolov, & Ganchev, 2017) la razón para que MF sea favorecida sobre otros modelos, no es únicamente por su buen rendimiento y simplicidad, sino también por su capacidad para incorporar información adicional al modelo. En este artículo se propone un nuevo modelo de MF que mejora la calidad de las recomendaciones proporcionadas.

El presente artículo se estructura de la siguiente forma: la Sección 2, presenta la motivación de este trabajo y la hipótesis que se plantea; la Sección 3, detalla el método propuesto; la Sección 4, muestra los resultados experimentales obtenidos midiendo la calidad de las predicciones y recomendaciones del método propuesto sobre diferentes conjuntos de datos; y la Sección 5, refleja las conclusiones de este trabajo.

2. Motivación e hipótesis

El CF basado en MF asume para su funcionamiento que las votaciones que los usuarios realizan en los ítems se encuentran condicionadas por una serie de factores latentes intrínsecos al dominio en el que se producen las votaciones (Salakhutdinov & Mnih, 2007). Esto quiere decir que, cuando un usuario expresa su opinión sobre un determinado ítem, esta opinión se encuentra supeditada a las propiedades ocultas que describen al ítem. Los métodos de CF basados en MF se encargan de encontrar estos factores latentes para construir un modelo a partir del cual realizar recomendaciones a los usuarios.

Matemáticamente, los métodos de MF consisten en encontrar dos matrices P y Q cuyo producto sea aproximadamente idéntico a la matriz de votaciones R (Koren & Bell, 2009):

$$R \approx P \cdot Q \quad (1)$$

Desarrollando la expresión (1), podemos inferir que la predicción de voto de un usuario u a un ítem i ($\hat{r}_{u,i}$) se calcula como:

$$\hat{r}_{u,i} = \bar{p}_u \cdot \bar{q}_i \quad (2)$$

Dónde \bar{p}_u representa un vector fila de la matriz P con los factores latentes del usuario u y \bar{q}_i representa un vector columna de la matriz Q con los factores latentes del ítem i .

Por lo tanto, podemos plantear la búsqueda de los factores latentes como un problema de optimización, en el cual se busca minimizar el error cometido en los votos conocidos de la siguiente manera:

$$\min_{p,q} \sum_{(u,i) \in R} (r_{u,i} - \bar{p}_u \cdot \bar{q}_i)^2 \quad (3)$$

A esta expresión, generalmente, se le añade un término de regularización para evitar el *overfitting*:

$$\min_{p,q} \sum_{(u,i) \in R} (r_{u,i} - \bar{p}_u \cdot \bar{q}_i)^2 + \lambda (\|\bar{p}_u\|^2 + \|\bar{q}_i\|^2) \quad (4)$$

La resolución de este problema de optimización puede abordarse mediante la técnica de descenso de gradiente, para lo cual debemos encontrar la derivada parcial de la expresión expuesta en la ecuación 4 respecto de los vectores \bar{p}_u y \bar{q}_i . Al hacerlo, obtenemos las siguientes ecuaciones de actualización para el proceso de aprendizaje:

$$e_{u,i} = r_{u,i} - \bar{p}_u \cdot \bar{q}_i \quad (5)$$

$$\vec{p}_u = \vec{p}_u + \gamma(e_{u,i} \cdot \vec{q}_i - \lambda \vec{p}_u) \quad (6)$$

$$\vec{q}_i = \vec{q}_i + \gamma(e_{u,i} \cdot \vec{p}_u - \lambda \vec{q}_i) \quad (7)$$

Donde l y g son dos hyper-parámetros que controlan el proceso de aprendizaje del modelo.

Aunque este algoritmo muestra un buen desempeño en las recomendaciones que proporciona, durante el proceso de entrenamiento asume que todas las votaciones deben influir del mismo modo en la actualización de \vec{p}_u (6) y \vec{q}_i (7). Puesto que los RS tienen como objetivo principal la recomendación de ítems a los usuarios y que estas recomendaciones se realizaran de acuerdo con aquellos ítems que tengan una predicción más alta, es razonable pensar que los votos más altos debería tener un mayor peso en el problema de optimización que los votos más bajos.

En este trabajo planteamos la hipótesis de que es posible mejorar las prestaciones de MF otorgando más relevancia al error cometido en las predicciones de los ítems que interesaron al usuario que al error cometido en aquellos que no lo hicieron.

3. Método propuesto

El método propuesto plantea modificar el problema de optimización empleado en MF (4) mediante la adición de un peso ($w_{u,i}$) que controle la relevancia que el voto del usuario u sobre el ítem i tiene al error cometido en dicha predicción. Se plantea, por tanto, el siguiente problema de optimización:

$$\min_{p,q} \sum_{(u,i) \in R} w_{u,i} \cdot (r_{u,i} - \vec{p}_u \cdot \vec{q}_i)^2 + \lambda (\|\vec{p}_u\|^2 + \|\vec{q}_i\|^2) \quad (8)$$

Aplicando de nuevo la técnica de descenso de gradiente, para determinar las ecuaciones que permiten determinar los parámetros que minimizan la función anterior, obtenemos las siguientes ecuaciones de actualización:

$$e_{u,i} = r_{u,i} - \vec{p}_u \cdot \vec{q}_i \quad (9)$$

$$\vec{p}_u = \vec{p}_u + \gamma(e_{u,i} \cdot w_{u,i} \cdot \vec{q}_i - \lambda \vec{p}_u) \quad (10)$$

$$\vec{q}_i = \vec{q}_i + \gamma(e_{u,i} \cdot w_{u,i} \cdot \vec{p}_u - \lambda \vec{q}_i) \quad (11)$$

Donde l y g son dos hyper-parámetros que controlan el proceso de aprendizaje del modelo.

El valor de $w_{u,i}$, de acuerdo con la hipótesis planteada, deberá ser proporcional al valor del voto ($w_{u,i} \propto r_{u,i}$). En este trabajo planteamos utilizar el siguiente peso:

$$w_{u,i} = \sqrt{r_{u,i} / r_{\max}} \tag{12}$$

Dónde r_{\max} representa el voto máximo posible que un usuario puede realizar sobre un ítem determinado.

4. Resultados

Con el fin de corroborar el efecto positivo de las modificaciones realizadas en el algoritmo de CF basado en MF, se ha realizado un estudio experimental mediante el cual se pretende responder la hipótesis planteada en el presente artículo.

4.1. Configuración de los experimentos.

Los experimentos ejecutados han sido diseñados con el fin de comparar la calidad de las predicciones y recomendaciones proporcionadas por el método propuesto frente a otros modelos de factorización matricial. En concreto se han seleccionado los siguientes métodos:

- Probabilistic Matrix Factorization (PMF) (Salakhutdinov & Mnih, 2007)
- Non-negative Matrix Factorization (NMF) (Lee & Seung, 2001)
- Bayesian Non-negative Matrix Factorization (BNMF) (Hernando, Bobadilla & Ortega, 2016)

Para evaluar el carácter generalista del método propuesto los experimentos se han ejecutado con tres conjuntos de datos diferentes: MovieLens 100K, MovieLens 1M y Netflix. Los principales parámetros de estos conjuntos de datos se encuentran en la Tabla 1. Nótese que para el conjunto de datos de Netflix se ha seleccionado un subconjunto reducido de los usuarios del mismo, debido a limitaciones de cómputo. En todos los conjuntos de datos se ha empleado un 20% de los usuarios como usuarios de test y un 20% de los ítems como ítems de test, definiéndose así un subconjunto de datos de test que viene dado por la relación entre estos usuarios e ítems de test.

Conjunto de datos	Usuarios	Ítems	Número de votos	Valor de los votos
MovieLens 100K	943	1.682	100.000	De 1 a 5 estrellas
MovieLens 1M	6.040	3.706	1.000.209	De 1 a 5 estrellas
Netflix	14.297	17.590	3.000.563	De 1 a 5 estrellas

Tabla 1 – Conjuntos de datos empleados en los experimentos realizados

Tanto el método propuesto como los métodos con el que se compara disponen de hyper-parámetros para su configuración. En el método propuesto y en PMF se ha fijado el valor de $g = 0.01$ y $l = 0.055$. En BNMF se ha fijado el valor de $a = 0.7$ y $b = 5$. En todos los métodos se ha limitado el número de iteraciones durante el aprendizaje del modelo a 50. Estos parámetros se han seleccionado con el fin de maximizar el rendimiento de todos los métodos evaluados.

Todos los experimentos han sido llevados a cabo con la librería CF4J (Ortega, Zhu, Bobadilla & Hernando, 2018). Para facilitar la reproducibilidad de los experimentos, se proporciona el código fuente de los mismos en <https://github.com/ferortega/weighted-matrix-factorization>.

4.2. Calidad de las predicciones.

El primer experimento se centra en evaluar la calidad de las predicciones proporcionadas por el método propuesto. Empleamos el Error Medio Absoluto (MAE, por sus siglas en inglés) para este fin. Definimos el MAE de las predicciones de un sistema de recomendación como:

$$MAE = \frac{\sum_{u \in U} MAE_u}{\#U} \quad (13)$$

Donde U simboliza el conjunto de usuarios y MAE_u representa la diferencia media en valor absoluto entre los votos de test del usuario u y la predicción de los mismos:

$$MAE = \frac{\sum_{i \in \hat{I}_u} |r_{u,i} - \hat{r}_{u,i}|}{\#\hat{I}_u} \quad (14)$$

Siendo \hat{I}_u el conjunto de ítems de test votados por el usuario u .

Los métodos evaluados disponen de un hyper-parámetro que permite definir el número de factores latentes en los que se factoriza la matriz de votaciones. Este hyper-parámetro tiene una alta dependencia respecto al conjunto de datos utilizado. Con el fin de ajustar este hyper-parámetro y medir la calidad de las predicciones proporcionadas por cada método, se ha evaluado el MAE de cada conjunto de datos realizando variaciones del número de factores.

La Tabla 2 contiene el error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 100K. Se puede observar que el método propuesto obtiene los mejores resultados cuando el número de factores es 11, obteniendo el error más bajo de todo el experimento sobre este conjunto de datos. El resto de métodos evaluados obtienen peores resultados, independientemente del número de factores empleados.

Num. factores	Método propuesto	PMF	NMF	BNMF
7	0,776897	0,788451	0,823020	0,805362
8	0,770515	0,787049	0,841424	0,808952
9	0,769152	0,793004	0,831319	0,811232

Num. factores	Método propuesto	PMF	NMF	BNMF
10	0,771493	0,802183	0,846082	0,807728
11	0,768656	0,789376	0,848537	0,815895
12	0,786459	0,795324	0,852990	0,814926
13	0,790744	0,798296	0,847313	0,819258
14	0,778311	0,807902	0,839726	0,824209

Tabla 2 – Error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 100K

La Tabla 3 contiene el error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 1M. El método propuesto logra los mejores resultados del experimento en este conjunto de datos cuando se emplean 13 factores. De nuevo, el método propuesto obtiene el menor error global en la calidad de las predicciones, obteniendo un menor error para todos los factores aplicados.

Num. factores	Método propuesto	PMF	NMF	BNMF
7	0,705304	0,714149	0,776329	0,746932
8	0,708078	0,713634	0,775750	0,749211
9	0,705417	0,712346	0,782697	0,745787
10	0,707105	0,712248	0,770237	0,747616
11	0,705260	0,712995	0,782329	0,747931
12	0,704881	0,713709	0,774866	0,752656
13	0,704096	0,717250	0,780892	0,751016
14	0,705807	0,720346	0,785649	0,755560

Tabla 3 – Error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 1M

La Tabla 4 contiene el error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de Netflix. Los mejores resultados globales se alcanzan empleando el método propuesto con 7 factores. Al igual que en los conjuntos de datos anteriores, el método propuesto supera a los métodos con los que se compara.

Num. factores	Método propuesto	PMF	NMF	BNMF
7	0,726579	0,741425	0,797476	0,767752
8	0,727078	0,738936	0,799697	0,774309
9	0,728392	0,735330	0,801450	0,775166
10	0,728510	0,740184	0,801398	0,775036
11	0,727775	0,738211	0,805058	0,777050

Num. factores	Método propuesto	PMF	NMF	BNMF
12	0,729745	0,740238	0,806257	0,779466
13	0,730062	0,744220	0,808063	0,781484
14	0,729145	0,737782	0,805986	0,783052

Tabla 4 – Error medio absoluto cometido en las predicciones realizadas en el conjunto de datos de Netflix

Los experimentos realizados demuestran una mejora en la calidad de las predicciones empleando el método propuesto. En todos los conjuntos de datos analizados se han mejorado el MAE respecto de otros métodos de MF.

4.3. Calidad de las recomendaciones

El segundo experimento plantea evaluar la calidad de las recomendaciones proporcionadas a los usuarios del sistema de recomendación. Las medidas de calidad de las recomendaciones permiten evaluar la satisfacción de los usuarios respecto de una lista finita de ítems recomendados. En este experimento se evaluarán tanto la calidad de la recomendaciones, mediante la *precisión*, como la calidad de las listas de recomendaciones, mediante la medida de *nDCG*.

La precisión del sistema se calcula de acuerdo a:

$$precision@N = \frac{\sum_{u \in U} precision_u@N}{\#U} \quad (15)$$

Donde U simboliza el conjunto de usuarios y $precision_u@N$ representa la *precisión* de las N recomendaciones recibidas por el usuario u :

$$precision_u@N = \frac{\#\{i \in R_u^N \mid r_{u,i} \geq \theta\}}{N} \quad (16)$$

Siendo R_u^N el conjunto de N ítems recomendados al usuario u y θ el umbral que indica si un ítem ha satisfecho o no al usuario.

Por otro lado, el *nDCG* del sistema se calcula de acuerdo a:

$$nDCG@N = \frac{\sum_{u \in U} nDCG_u@N}{\#U} \quad (17)$$

Donde $nDCG@N$ representa el *nDCG* de las N recomendaciones recibidas por el usuario u y se define como:

$$nDCG@N = \frac{DCG_u@N}{IDCG_u@N} \quad (18)$$

Siendo $DCG_u @ N$ y $IDCG_u @ N$ obtenidos a partir del siguiente modo:

$$DCG_u @ N = \sum_{p=1}^N \frac{2^{r_{u,x_{u,p}}}}{\log_2(p+1)}$$

$$IDCG_u @ N = \sum_{p=1}^{\hat{I}_u} \frac{2^{r_{u,y_{u,p}}}}{\log_2(p+1)}$$

Denotando $x_{u,p}$ al p -ésimo ítem recomendado al usuario si los ítems se ordenan de mayor a menor en función de su predicción ($\hat{r}_{u,i}$) y $y_{u,p}$ al p -ésimo ítem votado por el usuario si los ítems se ordenan de mayor a menor en función de su voto ($r_{u,i}$).

Para evaluar estas medidas de calidad se ha fijado el umbral para decidir si una recomendación es correcta o incorrecta como $q = 4$. Del mismo modo, se ha fijado el número de factores latentes a 9 en MovieLens 100K, 12 en MovieLens 1M y 11 en Netflix. Estos valores se han fijado para ofrecer los mejores resultados con todos los métodos evaluados.

La Fig. 1 contiene los resultados de *precisión* y *nDCG* para el conjunto de datos de MovieLens 100K empleando diferente número de recomendaciones. Se observa que el método propuesto obtiene los mejores resultados de *precisión* junto con PMF. Además, el método propuesto mejora a todas las demás alternativas al evaluar la calidad de las listas de recomendaciones con *nDCG*.

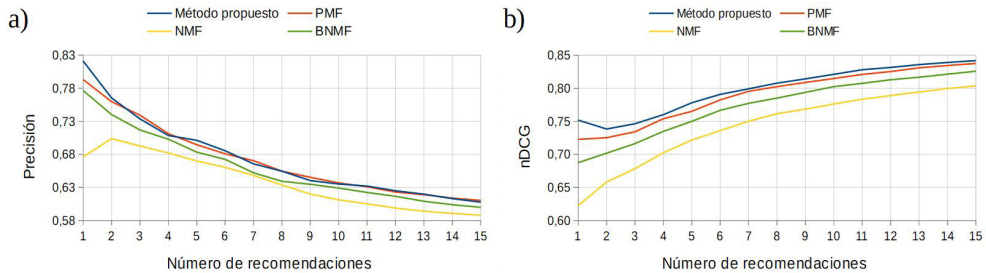


Figura 1 – Resultados de precisión (a) y *nDCG* (b) para las recomendaciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 100K

La Fig. 2 contiene los resultados de *precisión* y *nDCG* para el conjunto de datos de MovieLens 1M empleando diferente número de recomendaciones. El método propuesto y PMF son los métodos que mejor calidad de recomendaciones presentan al obtener la mayor precisión. Así mismo, el método propuesto obtiene los mejores resultados cuando se mide la calidad de las listas de recomendaciones con *nDCG*.

La Fig. 3 contiene los resultados de precisión y *nDCG* para el conjunto de datos de Netflix empleando diferente número de recomendaciones. Tal y como sucede en los otros conjuntos de datos evaluados, la calidad de las recomendaciones ofrecidas por el

método propuesto iguala los resultados de PMF y supera notablemente a NMF y BNMF. El método propuesto también presenta el mejor resultado con $nDCG$.

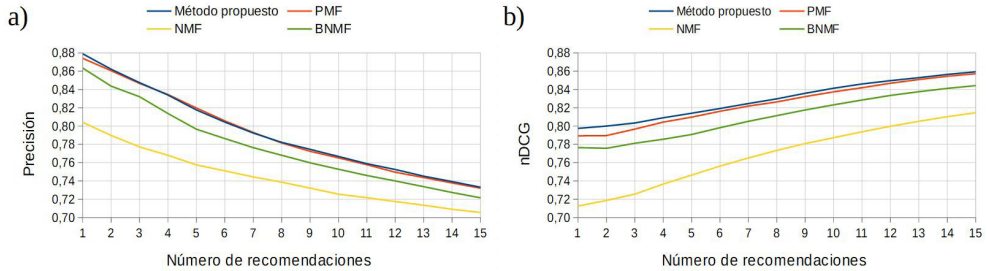


Figura 2 – Resultados de precisión (a) y $nDCG$ (b) para las recomendaciones realizadas en el conjunto de datos de MovieLens 1M

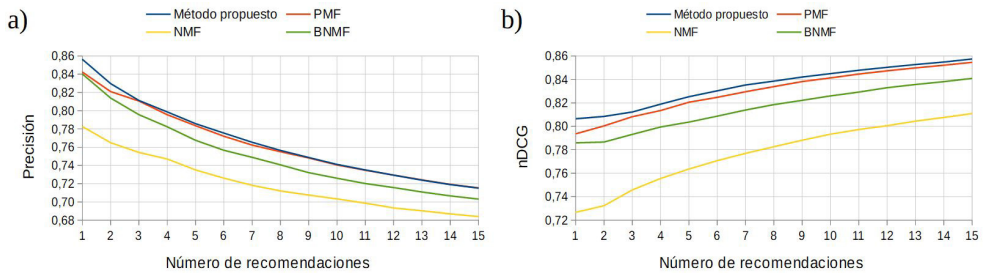


Figura 3 – Resultados de precisión (a) y $nDCG$ (b) para las recomendaciones realizadas en el conjunto de datos de Netflix

Estos experimentos demuestran que el método propuesto obtiene los mejores resultados al evaluar la calidad de las recomendaciones y las listas de recomendaciones.

4. Trabajos relacionados

A continuación se muestra una serie de estudios recientes que utilizan la factorización matricial (MF) en el campo de los sistemas de recomendación:

En el trabajo realizado por (Zange & Kosaraju, 2019), se propone tres sistemas de recomendación y presenta una nueva estrategia que integra el conocimiento del dominio para nuevos usuarios en un sistema de recomendación basado en aprendizaje automático para usuarios existentes. Usando el conjunto de datos *Tweetings* de películas, los autores implementan cada sistema de recomendación y generan un sistema potenciado que aborda los problemas causados por los sistemas de recomendación actuales.

Así mismo, en el trabajo presentado por (Chen et al., 2013) se propone un método de factorización matricial funcional general, que incluye modelos convencionales de

factorización matricial como sus casos especiales. Ellos proponen un algoritmo basado en la potenciación del gradiente para resolver eficientemente el problema de optimización.

En (Yuan et al., 2017) proponen un recomendador potenciado colaborativo basado en características llamado BoostFM, que integra la potenciación en los modelos de factorización durante el proceso de clasificación de ítems. BoostFM es un marco potenciado adaptativo que combina linealmente múltiples recomendadores de componentes homogéneos, que se construyen repetidamente sobre la base del modelo de factorización matricial individual mediante un esquema de re-ponderación.

El trabajo realizado por (Nguyen & Takasu, 2019) presenta la potenciación de la predicción de votos con datos de clic y contenido textual, el modelo aprende las representaciones de usuario e ítem conjuntamente desde la matriz de usuario-ítems, contenido textual y matriz de clics del ítem construida a partir de datos de clic.

Podemos encontrar otros modelos basados en MF como el presentado por (Hernando et al., 2016) los cuales proponen una técnica bayesiana basada en MF para predecir los gustos de los usuarios en RS, este método se basa en factorizar la matriz de votaciones en dos matrices no negativas cuyos componentes se encuentran dentro del rango $[0, 1]$ con un significado probabilístico comprensible.

De manera similar, un algoritmo mejorado de factorización matricial probabilístico llamado MPMF fue propuesto por (Zhang & Liu, 2014) el cual determina el valor óptimo de dimensión tanto del vector de características del usuario como del vector de características del ítem a través de experimentos.

En el trabajo presentado por (Tiwari & Potter, 2015), proponen un sistema de recomendación para el usuario combinando el enfoque de filtrado colaborativo con datos de transacciones como el voto estimado, la información demográfica del usuario y la similitud de los ítems. Por otro lado, (Kumar, Girase & Mukhopadhyay, 2015) presenta un estudio sobre el rol de la factorización matricial en filtrado colaborativo, donde los modelos de factorización matricial se presentan como un SVD para direccionar los desafíos de los algoritmos de filtrado colaborativo, que pueden servir como una hoja de ruta para la investigación en esta área.

En (Ju et al., 2015) presentaron un modelo unificado que combina la factorización matricial no negativa multitarea y los sistemas dinámicos lineales para capturar la evolución de las preferencias del usuario. Específicamente, las características del usuario y del ítem se proyectan en el espacio de factor latente, factorizando las matrices de co-ocurrencia en una matriz común de factor de ítem y múltiples matrices de factores-usuario.

Otro trabajo que usa MF es el presentado por (Kumar, 2016), el cual propone un modelo de factor latente que calcula la precisión y la eficiencia reduciendo el número de características latentes de los usuarios o ítems que lo hacen menos complejo que el SVD regularizado. En el enfoque propuesto, el número de factores latentes de los ítems varía según el conjunto de datos, pero el número de factores latentes del usuario es constante e igual a uno. De esta manera, este modelo disminuye el número de factores latentes para entrenar en comparación con la SVD regularizada.

Por otro lado, (Li et al., 2017) presentan un modelo híbrido de CF incorporando tanto métodos basados en eventos y en la vecindad basada en el usuario, dentro de la factorización matricial para resolver el problema de predecir la influencia social de los usuarios en los próximos eventos. Así mismo, (Gu, Zhou, & Ding, 2010) proponen un modelo unificado para el filtrado colaborativo basado en la factorización matricial no negativa ponderada basados en grafos. El método propuesto no solo hereda las ventajas del método basado en modelos, sino que también posee los méritos del método basado en memoria, la cual considera la información del vecindario.

Autores como (Jung & Lease, 2012) proponen un algoritmo de factorización matricial probabilística local (LPMF, por sus siglas en inglés), que divide toda la matriz en un cierto número de matrices locales y combina estas soluciones óptimas locales de manera ponderada.

5. Conclusiones

En este trabajo se propone un nuevo modelo de filtrado colaborativo basado en MF ponderado, el cual otorga mayor relevancia al error cometido en las predicciones de los ítems, que fueron de interés para los usuarios que al error cometido con aquellos que no lo fueron.

Los resultados de los experimentos muestran que este modelo provee mejoras en la precisión de las predicciones (MAE), para todos los conjuntos de datos analizados en comparación con otros métodos de factorización matricial.

En cuanto a la precisión de las recomendaciones, el modelo propuesto presenta mejores o iguales resultados a los obtenidos con PMF y supera notablemente a los métodos basados en factorización matricial no negativa como NMF y BNMF. Además, los experimentos muestran que el modelo planteado demuestra una mejora en la calidad de las listas de recomendaciones sobre los conjuntos de datos MovieLens 100K, MovieLens 1M y Netflix.

Como trabajo futuro, el modelo propuesto puede ser utilizado en combinación con otras técnicas, como por ejemplo métodos bayesianos para predecir los gustos de los usuarios y proporcionar explicaciones sobre las recomendaciones.

Referencias

- Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., Kantor, PB. (2011). *Recommender Systems Handbook*. (Ricci F, Rokach L, Shapira B, Kantor PB, eds.). Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-85820-3
- Herlocker, JL., Konstan, J., Terveen, LG., Riedl, JT. (2004). Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems*, 22(1), 5-53. doi:10.1145/963770.963772
- Chang, T., Hsiao, W. (2013). LDA-based Personalized Document. In *Proceedings of the PACIS*.

- Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A., Gutiérrez, A. (2013). Recommender systems survey. *Knowledge-Based Systems*, 46, 109-132. doi: 0.1016/j.knosys.2013.03.012
- Li, X., Cheng, X., Su, S., Li, S., Yang, J. (2017). A hybrid collaborative filtering model for social influence prediction in event-based social networks. *Neurocomputing*, 197-209, doi:10.1016/j.neucom.2016.12.024
- Koren, Y., Bell, R., Volinsky, C. (2009). Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems. *IEEE Computer Society*, 42(8), 42-49.
- Hernando, A., Bobadilla, J., Ortega, F. (2016). A non negative matrix factorization for collaborative filtering recommender systems based on a Bayesian probabilistic model. *Knowledge-Based Systems*, 97, 188-202. doi:10.1016/j.knosys.2015.12.018
- Mnih, A., Salakhutdinov, R. (2008). Probabilistic matrix factorization. In *Advances in neural information processing systems*, 1257-1264.
- Lee, D. D., Seung, H. S. (2001). Algorithms for non-negative matrix factorization. In *Advances in neural information processing systems*, 556-562.
- Zhang, L., Chen, Z., Zheng, M., He, X. (2011). Robust non-negative matrix factorization. *Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China*, 6(2), 192-200, doi:10.1007/s11460-011-0128-0
- Zhang, H., Nikolov, N.S., Ganchev, I. (2017). Exploiting User Feedbacks in Matrix Factorization for Recommender Systems. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Model and Data Engineering*, 235-247, Barcelona, Spain. Springer International Publishing, doi: 10.1007/978-3-319-66854-3
- Salakhutdinov, R., Mnih, A. (2007). Probabilistic Matrix Factorization. In *Proceedings of the 20th International Conference on Neural Information processing Systems*, 1257-1264, USA: Curran Associates Inc.
- Ortega, F., Zhu, B., Bobadilla, J., Hernando, A. (2018). CF4J: Collaborative filtering for Java. *Knowledge-Based Systems*, 152, 94-99.
- Zange Tsaku, N., Kosaraju, S. (2019). Boosting Recommendation Systems through an Offline Machine Learning Evaluation Approach. In *ACM Southeast Regional Conference*, 182-185, Kennesaw, GA, USA, doi: 10.1145/3299815.3314454
- Chen, T., Li, H., Yang, Q., Yu, Y. (2013). General functional matrix factorization using gradient boosting. In *30th International Conference on Machine Learning*, pp. 436-444, Atlanta, Georgia, USA.
- Yuan, F., Guo, G., Jose, J.M., Chen, L., Yu, H., Zhang, W. (2017). BoostFM: Boosted factorization machines for Top-N feature-based recommendation. In *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 45-54, doi:10.1145/3025171.3025211
- Nguyen, T., Takasu, A. (2019). Boosting the Rating Prediction with Click Data and Textual Contents. arXiv:1908.07749. <http://arxiv.org/abs/1908.07749>.

- Zhang, Z., Liu, H. (2014). Application and Research of Improved Probability Matrix Factorization Techniques in Collaborative Filtering. *International Journal of Control and Automation*, 7(8), 79-92. doi:10.14257/ijca.2014.7.8.08
- Tiwari, SK., Potter, H. (2015). An Approach for Recommender System by Combining Collaborative Filtering with User Demographics and Items Genres. *International Journal of Computer Applications*, 128(13), 16-24.
- Kumar Bokde, D., Girase, S., Mukhopadhyay, D. (2015). Matrix Factorization Model in Collaborative Filtering Algorithms. In *4th International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3'15)*.
- Ju, B., Qian, Y., Ye, M., Ni, R., Zhu, C. (2015). Using Dynamic Multi-Task Non-Negative Matrix Factorization to Detect the Evolution of User Preferences in Collaborative Filtering. *PLoS One*, 10(8). doi:10.1371/journal.pone.0135090
- Kumar, B. (2016). A novel latent factor model for recommender system. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 13(3), 497-514. doi:10.4301/S1807-17752016000300008
- Gu, Q., Zhou, J., Ding, C. (2010). Collaborative filtering: Weighted nonnegative matrix factorization incorporating user and item graphs. In *Proceedings of the 10th SIAM International Conference on Data Mining*, 199-210, Columbus, Ohio, USA.
- Jung, HJ., Lease, M. (2012). Improving Quality of Crowdsourced Labels via Probabilistic Matrix Factorization. In *Proceedings of the 4th Human Computation Workshop (HCOMP) at AAAI*, 101-106, Toronto, ON, Canada.

Uma Proposta de Incubadora Multissensorial para Neonatos no Contexto do Sistema de Saúde Brasileiro: Das Práticas Médicas com o Robô *Premature Anne* às Possibilidades de Transformação em Produto de Baixo Custo

João Benedito dos Santos Junior¹, Letícia de Almeida Reche¹, Julia Pereira Soares¹, Norma Ávila¹, Núbia Samara Maia¹, Antônio Ângelo Rocha¹, Thatia Regina Bonfim¹, Mayra Loures de Oliveira²

joao@pucpcaldas.br, leticia.reche@hotmail.com, juliasoares@hotmail.com, norma.a.silveira@hotmail.com, nubiasamaramaia@gmail.com, angelo@pucpcaldas.br, thatiarb@pucpcaldas.br, mayraloures@hotmail.com

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas, *campus* de Poços de Caldas, Brasil

² Centro Universitário de Caratinga, Minas Gerais, Brasil

Pages: 479–485

Resumo: Este trabalho apresenta uma proposta de protótipo de Incubadora Neonatal Multissensorial, para fins acadêmicos e eventual uso em ambiente hospitalar, no contexto do sistema brasileiro de saúde. No caso de uso em ambientes acadêmicos, pretende-se melhorar a qualidade do aprendizado de estudantes de Medicina e demais cursos da área de Saúde, oferecendo um ambiente bastante realístico, quando comparado ao ambiente que muitos médicos encontram nas situações cotidianas de atendimento a recém-nascidos. No caso de uso em ambientes hospitalares, pretende-se chegar à construção de um equipamento de baixo custo, porém eficiente e confiável, que possa ser aplicado para reduzir o déficit de incubadoras para recém-nascidos existente no Brasil. O protótipo é desenvolvido de forma multidisciplinar, com alunos e professores dos cursos de Medicina e Ciência da Computação, usufruindo dos recursos e funcionalidades de simulação oferecidos pelo robô-manequim *Premature Anne*.

Palavras-chave: Computação Aplicada à Saúde; Incubadora Multissensorial e Inteligente; Recém-Nascidos; Inovação na Saúde.

A Proposal for a Multisensory Incubator for Neonates in the Context of the Brazilian Health System: From Medical Practices with the Premature Anne Robot to the Possibilities of Transforming into a Low-Cost Product

Abstract: This work presents a prototype proposal for a Multisensory Neonatal Incubator, for academic purposes and use in a hospital environment, in the

Brazilian health context. In the case of use in academic environments, it is intended to improve the quality of the training environment of medical students and other courses in the area of Health, offering a very realistic environment, when compared to the environment that many doctors find in everyday situations of care with newborns. In the case of use in hospital environments, it is intended to construct a low-cost but efficient and reliable equipment that can be applied to reduce the important deficit of incubators for newborns existing in Brazil. The prototype is developed in a multidisciplinary way, with students and teachers from the both Medicine and Computer Science courses, taking advantage of the resources and simulation features offered by the Premature Anne robot-mannequin.

Keywords: Computing Applied to Health; Smart and Multisensory Incubator; Newborns; Innovation in Health.

1. Introdução

No Brasil, as mortes entre recém-nascidos representam, aproximadamente, 70% do total de óbitos registrados no primeiro ano de vida. Além disso, em todo o território brasileiro, 11,9% das crianças nascem prematuras, segundo dados do Sistema Nacional de Nascidos Vivos (Brasil), do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). Observa-se, então, que se trata de uma taxa extremamente alta, se comparada àquelas registradas em outros países com características similares ao Brasil. De forma complementar, as taxas de recém-nascidos, com baixo peso ao nascer, têm permanecido em torno de 8%.

De acordo com o artigo IV da Declaração Universal dos Direitos do Bebê Prematuro, todos os prematuros possuem direito ao tratamento estabelecido pela ciência, sem distinções, portanto, todos devem receber tratamentos e chances iguais de sobrevivência e desenvolvimento.

Em linhas gerais, entre as principais causas dos óbitos neonatais, estão problemas respiratórios, asfixia ao nascer, infecções, distúrbios metabólicos, dificuldade para se alimentar e dificuldade para regular a temperatura corporal. Sabe-se, ainda, que a hipotermia está fortemente associada ao aumento da mortalidade e morbidade neonatais, sendo motivo de preocupação, uma vez que os recém-nascidos acometidos por essa situação podem desenvolver diversos tipos de doenças e até evoluir para óbito. Nesse sentido, a permanência do recém-nascido de alto risco nas Unidades de Terapia Intensiva Neonatais (UTIN) torna-se necessária, e o uso da Incubadora Neonatal é de extrema importância, pois contribui para a prevenção de muitas intercorrências, se ambos estiverem em condições físicas adequadas.

2. Evolução das Incubadoras para Recém-Nascidos

As primeiras incubadoras chegaram ao Brasil no início do século XX e sempre tiveram como principal incumbência evitar a hipotermia e, conseqüentemente, aumentar a sobrevivência do recém-nascido. Durante muitos anos, foram empregados recursos para manter a temperatura corporal do prematuro com meios improvisados, que podiam causar danos à integridade da pele dos recém-nascidos [8]. No entanto, os avanços da ciência, das práticas da neonatologia e das tecnologias permitiram que as incubadoras se

tornassem um ambiente mais adequado para o prematuro. Assim, ao longo do tempo, a principal função das incubadoras para recém-nascidos foi permitir que o bebê mantivesse uma temperatura ideal corporal e constante, embora também permitisse regular a umidade do ar. Em termos regulatórios, ainda que a maioria dos prematuros permaneça por várias semanas na incubadora, deve-se considerar a meta de permanência até que o seu peso atinja, no mínimo, os 2 Kg.

3. Problemas Estruturais das Incubadoras

Embora a Incubadora Neonatal seja considerada como um equipamento que revolucionou a Medicina ao longo de várias gerações, deve-se que observar que muitos destes equipamentos, no contexto de uma UTIN, não funcionem adequadamente, seja por falta de recursos tecnológicos, seja por falta de profissionais de saúde com as devidas habilidades e treinamento. Assim, ao invés de oferecerem suporte ao tratamento das necessidades do recém-nascido, podem representar riscos à vida dos mesmos.

MODELO	VALOR	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
Incubadora neonatal 1186A FANEM	Aproximadamente R\$22.000,00	Aquecimento: Modo Pele e Modo Ar; Operação simples; Oxigênio Servo-controlado (versão C); Umidade Controlada (versão C) e Umidade passiva (versão A); Oxímetro de pulso integrado SpO ₂ (versão C).
Incubadora neonatal 1186c FANEM	Aproximadamente R\$25.000,00	Painel de LCD monocromático com 5,5" com exibição de parâmetros gráficos; Aquecimento: Modo Pele e Modo Ar; Operação simples; Leito deslizante, radio-transparente e com sistema de inclinação para facilitar o atendimento do paciente; Sistema de Umidificação Servo-controlada; Sensor de temperatura auxiliar.
Incubadora neonatal MILLENNIUM com acessórios – Gigante	Aproximadamente R\$19.619,00	Indicação visual e sonora dos alarmes de Hipotermia, hipertermia, sub-temperatura, sobre-temperatura, falha no sistema, falha de circulação de Ar na cúpula, falha de aquecimento, falta de energia, sensor RN desconectado, falha no sensor e cúpula aberta.
Incubadora neonatal estacionária OLIDEF modelo LINE 4	Aproximadamente R\$37.000,00	Display alfanumérico com indicação simultânea das temperaturas desejada, do Ar, do paciente, peso e umidade relativa do ar; certificado de acordo com as normas: NBR IEC 60601-1, NBR 60601-2-19, NBR 60601-1-2 e NBR 60601-2-49. Ampla linha de opcionais

Tabela 1 – Exemplos de Incubadoras para Neonatos e seus Custos

Esses riscos estão relacionados a três fatores essenciais: a) ao número insuficiente de incubadoras, devido aos custos financeiros para sua aquisição, conforme pode ser visto na **Tabela 1**; b) aos níveis de ruído que muitos equipamentos produzem durante sua operação, não oferecendo mecanismos tecnológicos sensoriais para o monitoramento efetivo das condições ambientais dentro e fora da incubadora; c) à inabilidade de muitos profissionais da área da saúde na operação desses equipamentos, tanto pela falta de contato com os mesmos quanto pelo nível insuficiente de treinamento para sua operação.

4. Proposta de um Protótipo Multissensorial e Inteligente

Conforme citado, este trabalho tem como objetivo apresentar a criação de um protótipo de Incubadora Neonatal Multissensorial e minimamente Inteligente (*smart*, do ponto de vista de favorecer reações automáticas, controladas e confiáveis, com o mínimo de intervenção humana), tanto para fins acadêmicos quanto para o uso em ambiente hospitalar. Do ponto de vista acadêmico, pretende-se utilizar a incubadora para favorecer a formação e o treinamento de estudantes de Medicina e/ou de cursos da área da Saúde. Do ponto de vista das unidades hospitalares, pretende-se oferecer uma plataforma de hardware e software, configurando-se um ambiente de computação embarcada, com aspectos de alta tecnologia, porém de menor custo, quando comparada a alguns equipamentos disponíveis no mercado, o que pode viabilizar o seu uso em maior escala, beneficiando, principalmente, localidades onde esse tipo de equipamento é escasso e/ou inexistente.

Desde a fase de especificação, o projeto da Incubadora Multissensorial e Inteligente para Recém-Nascidos tem sido desenvolvido de forma interdisciplinar e multidisciplinar, envolvendo conhecimentos advindos do curso de Medicina – que contribui com a especificação dos parâmetros ideais para o funcionamento da incubadora, do ponto de vista da Neonatologia – e com conhecimentos advindos da área da Ciência da Computação – que contribui com as questões de implementação, validação e testes do ambiente tecnológico proposto.

4.1. Metodologia de Pesquisa

Ao longo das fases de desenvolvimento da incubadora, atividades contínuas de pesquisa em bancos de dados, tais como *Medline* e *Scielo*, e em cadernos do Ministério da Saúde, foram muito importantes para identificação dos principais aspectos relacionados aos problemas nas incubadoras e como eles poderiam ser evitados. Estudos e pesquisas de campo em uma UTIN também foram realizados, além de entrevistas técnicas com profissionais que trabalham com equipamentos dessa natureza. Aspectos da Medicina Baseada em Evidências, desenvolvidos no contexto em que este trabalho se insere, foram considerados e contribuem de forma expressiva com os resultados preliminares obtidos.



Figura 1 – Robô-manequim *Premature Anne*

Construído o protótipo de *hardware* e *software* da incubadora, foram realizadas configurações específicas no robô-manequim *Premature Anne*, produzido pela empresa norueguesa *Laerdal* e disponível para simulações no ambiente dos Laboratórios de Anatomina do curso de Medicina. O robô-manequim *Premature Anne*, quando em estado de operação, oferece um conjunto avançado de parâmetros para monitoramento, se aproximando muito do estado corpóreo de um recém-nascido. A **figura 1** apresenta o robô-manequim *Premature Anne*.

Do ponto de vista do *hardware*, a Incubadora Multissensorial e Inteligente para Recém-Nascidos é um projeto baseado em sensores, sistemas embarcados de controle (como é o caso do *Arduíno* e *Raspebery*) e câmeras para monitoramento a distância (que a inserem também num contexto de Telemedicina).



Figura 2a – Estrutura interna da incubadora Figura 2b – Controlador de sensores

No caso do conjunto de sensores, a plataforma é composta por sensor de frequência cardíaca, temperatura corporal, temperatura e umidade do ambiente (para realizar a medição dentro da incubadora), sensor de presença de gases tóxicos (como o monóxido de carbono e a amônia), além de uma célula de carga, capaz de realizar a medição do peso corporal. As **figuras 2a** e **2b** apresentam a estrutura da incubadora. Do ponto de vista do *software*, ferramentas, API (*Application Programming Interfaces*) e pacotes de desenvolvimento Java foram utilizados na implementação. Em relação às aplicações em Telemedicina, a Incubadora conta com câmeras instaladas no seu interior, possibilitando a visualização e acompanhamento do recém-nascido em tempo real e em localidades distantes.



Figura 3 – Ambiente completo proposto para a incubadora

A plataforma de *software* recebe dados dos sensores em tempo real, processa esses dados e produz informações valiosas, que podem ser visualizadas em múltiplas telas (*notebooks*, televisores, *tablets* e *smartphones*).

A **figura 3** apresenta o ambiente integrado de hardware e software proposto para uso da incubadora.

4.2. Ambiente e Cenários de Testes

Para validar o uso da incubadora, cenários de simulação clínica foram configurados e construídos usando o robô-manequim *Premature Anne*; esses cenários são construídos com o uso de um *tablet*, que acompanha o equipamento robótico, sendo utilizada a interface de rede *bluetooth* para transferência de dados. Para a construção de um cenário, são definidos parâmetros para os sinais vitais, e o robô passa a reagir de acordo com os mesmos. Então, os sensores da incubadora capturam os dados de monitoramento, o que permite a simulação de um ambiente próximo de um ambiente real.

Uma vez obtidos os dados, o protótipo da incubadora é capaz de tomar decisões, de maneira automática e/ou controlada, sobre as melhores combinações de parâmetros para que o ambiente da incubadora se ajuste às demandas do corpo do bebê prematuro. Assim, além de informar, em tempo real, os sinais vitais do recém-nascido, a plataforma emite notificações e alertas visuais, permitindo ações mais rápidas dos profissionais envolvidos no cuidado do prematuro.

As notificações de alerta são emitidas para o ambiente local, no qual a incubadora está inserida, bem como para acompanhamento remoto, de acordo com os registros de dados dos profissionais habilitados e autorizados a receber tais notificações.

5. Resultados Preliminares e Contribuições

A partir da análise dos dados obtidos com o teste da Incubadora Inteligente usando o robô-manequim *Premature Anne*, e confrontando os resultados de simulações com a realidade das UTIs do país, pôde-se observar o potencial para estudos avançados em pesquisa e as possibilidades para o desenvolvimento de um equipamento para uso hospitalar [8]. Os principais problemas citados ao longo deste artigo e as intercorrências que podem ser evitadas durante a operação de equipamentos dessa natureza constituem as principais motivações para a sequência deste trabalho, que, no contexto de pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, possui investimentos para seu desenvolvimento até o final de 2021. De forma complementar, por simular condições próximas de um ambiente real, o protótipo da incubadora pode evoluir para uso em ambiente acadêmico e para um produto de baixo custo, uma vez que o preço dessas incubadoras neonatais, conforme mostrado na **Tabela 01**, é um fator que impacta o seu uso no Brasil. Estudos de viabilidade iniciais indicam que é possível projetar e construir a incubadora, proposta neste trabalho, com custo aproximado de dez mil reais.

6. Considerações Finais

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que está em sua segunda etapa de desenvolvimento, ao longo de 2019, observou-se que o problema das incubadoras

neonatais é real e relativamente grave, principalmente pela insuficiência de equipamentos, em face à demanda. De forma complementar, não há registros, em nível de Brasil, de trabalhos de pesquisa que utilizem metodologia semelhante e com objetivos relacionados ao trabalho aqui reportado. Em linhas gerais, pretende-se, conforme citado, viabilizar um produto acessível a todas as Unidades de Terapia Intensiva Neonatal em âmbito do território brasileiro, de modo a proporcionar um ambiente mais seguro possível aos recém-nascidos.

Referências

- Barros, F; Matijasevich, A.; Silveira, M.: Pesquisa para estimar a prevalência de nascimentos pré-termo no Brasil e explorar possíveis causas. Consultoria UNICEF Brasil. Julho, 2013.
- Portal ODM [homepage na Internet]. Brasil reduz mortalidade infantil em 83%. Disponível em: <http://www.portalodm.com.br/video/58/brasil-reduz-mortalidade-infantil-em-83>. Último acesso em 01/03/2019.
- Tamez, R. N.; Silva, M. J. P.: Enfermagem na UTI neonatal: assistência ao recém-nascido de alto risco. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; (2009).
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. Atenção à saúde do recém-nascido: guia para os profissionais de saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. Brasília: Ministério da Saúde, (2011).
- Costa, C. C.: Avaliação de incubadoras neonatais e práticas de manuseio pela equipe de enfermagem. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, (2016).
- Costa, C. C.; Tonete, V. L. P.; Parada, C. M. G. L.: Conhecimentos e práticas de manuseio de incubadoras neonatais por profissionais de enfermagem. Acta paul. enferm. (2017); 30(2):174-80.
- OLIVEIRA, S.; VIEIRA, G. B.; SANTOS JUNIOR, J. B.; ALBANO, L.; JUNIOR, W. F.; Abrão, I. C.; BONFIM, T. R.: Tecnologias de Informação e a Medicina Baseada em Evidências: Possíveis Diálogos e Situações Controversas. In: XVI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2018, Fortaleza - CE. Anais do CBIS2018. São Paulo: SBIS - Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, 2018. v.1.
- Soares, J.P.; Silveira, N. A.; Maia, N.S.; Oliveira, M. L.; Almedia, L. R.; Santos Junior, J. B. dos; Bonfim, T. R.: Uso de uma Incubadora Multissensorial para Práticas Médicas com Neonatos Usando o Robô Premature Anne. XV Congresso Paulista de Pediatria. São Paulo, março de 2019.
- Tavares, L. A. M.: Uma Declaração Universal de Direitos para o Bebê Prematuro. Brasil Diagraphic, (2008). Disponível em <http://creativecommons.org/licencas/dominiopublico>. Acesso em 30/01/2019.

Acesso à Internet em períodos recessivos: O caso do Brasil¹

Thiago Christiano Silva¹, Florângela Cunha Coelho², Philipp Ehrl³,
Benjamin Miranda Tabak⁴

**thiago.christiano@ucb.br, florangela.coelho@dpu.def.br e florangela@unb.br,
philipp.ehrl@ucb.br, benjaminm.tabak@gmail.com**

¹ Universidade de São Paulo, Av. Bandeirantes, 3.900, Monte Alegre, Ribeirão Preto SP, Brasil

² Defensoria Pública da União, SBS Q2, Asa Sul, Brasília DF, Brasil e Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília DF, Brasil

³ Universidade Católica de Brasília, SGAN 916 Módulo B Avenida W5, Brasília DF, Brasil

⁴ FGV/EPPG Escola de Políticas Públicas e Governo, Fundação Getúlio Vargas, Brazil

Pages: 486–497

Resumo: Este artigo analisa o impacto dos períodos de recessão no acesso à Internet das famílias no Brasil. Utilizamos microdados dos domicílios brasileiros e técnicas econométricas, como modelos Pooled OLS e Probit, para mostrar que a recessão brasileira teve impacto negativo no acesso à Internet das famílias. As estimativas mostram que, em média, a demanda por acesso à Internet em casa diminuiu 8 p.p. devido à deterioração da situação econômica. Os dados também sugerem que as regiões onde o acesso à Internet era mais amplo sofreram um declínio percentual maior. Famílias com baixos níveis de renda e escolaridade também experimentam um impacto negativo nas taxas de acesso à Internet devido à crise. Os dados sugerem que as famílias percebem o acesso à Internet como um serviço essencial, fazendo com que substituam o acesso à Internet em casa por outras maneiras mais baratas de acessá-la fora de casa quando ocorrem condições adversas.

Palavras-chave: Acesso à Internet em casa, TIC, Recessão, Probit.

Internet Access in Recessary Periods: The case of Brazil

Abstract: This paper analyzes the impact of recessionary periods on Internet access of households in Brazil. We use microdata on Brazilian households and econometric techniques, such as pooled OLS and Probit regression models, to show that the Brazilian recession had a substantial negative impact on the Internet access of households. We find that, on average, the demand for Internet access at home decreased 8 p.p. due to the deteriorated economic situation. The data also

¹ O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos à Defensoria Pública da União (DPU) pelo apoio financeiro.

reveal that regions in which Internet access was more widespread suffered a higher percentage decline. Households with lower levels of income and schooling also experience a stronger negative impact on Internet access rates due to the crisis. Our findings suggest that households perceive Internet access as an essential service, making them substitute Internet access at home to other cheaper ways of accessing it outside home when adverse conditions befall.

Keywords: Internet access at home, ICT, Recession, Probit.

1. Introdução

Pesquisas demonstraram que o investimento em tecnologias da informação e comunicação (TIC) está associado a benefícios econômicos, como aumento de produtividade, custos mais baixos, novas oportunidades econômicas, criação de empregos, inovação e aumento do comércio (Banco Mundial, 2018). Nesse contexto, a internet hoje é uma ferramenta essencial para empresas e residências particulares. Podemos dizer que, apesar do aparente desenvolvimento positivo das taxas de uso de TIC no Brasil, os dados agregados são omissos a respeito de uma possível evolução não linear ao longo do tempo e se há heterogeneidades regionais. Apesar da convergência na desigualdade social, a persistente divergência de renda pode estar associada a desigualdades em termos de acesso às TIC (Almeida et al., 2017). Motivado por esse contexto, o objetivo do presente artigo é analisar a evolução do acesso à Internet (como um exemplo específico de TIC) no Brasil, durante o período de 2012 a 2017, com foco especial nos efeitos da crise econômica iniciada em 2014.

Este artigo contribui para a literatura sobre acesso à Internet, ao analisar o papel dos períodos recessivos na formação do acesso à Internet das famílias no Brasil². Para isso, usamos modelos lineares e não lineares, e diferentes covariáveis socioeconômicas para explicar o acesso à Internet, tais como renda familiar, escolaridade e a existência de TV a cabo no domicílio³. Usamos microdados do mundo real em nível domiciliar, coletados nas vastas regiões do Brasil. As estimativas sugerem a existência de disparidades regionais nas diferentes regiões brasileiras e mostram como elas se relacionam com o acesso à Internet antes e durante a recessão. Quando analisamos a variável acesso à Internet em outro local, os resultados para o efeito da recessão são opostos. Os dados sugerem que as famílias percebem o acesso à Internet como um serviço essencial, fazendo com que substituam o acesso à Internet em casa por outras maneiras mais baratas de acessá-la fora de casa quando ocorrem condições adversas. Além disso, as respostas relacionadas ao quesito “não tem acesso à Internet em casa devido ao custo elevado desse serviço” corroboram que realmente a crise econômica foi um fator crucial na queda da demanda por Internet.

² O presente artigo é uma extensão de Coelho et al. (2019) e Silva et al. (em prelo), ao considerar na análise os motivos das famílias não terem acesso à Internet em casa.

³ O uso de métodos quantitativos, como modelos não lineares, é amplamente difundido na literatura para explicar fenômenos econômicos e sociais, como em Silva & Zhao (2015); Souza et al. (2015); Fazio et al. (2018); Cajueiro & Tabak (2008).

2. Revisão de Literatura

O crescimento generalizado das TICs, ajuda a criar incentivos para aumentar a participação dos indivíduos, o que por sua vez pressupõe o desenvolvimento de habilidades para lidar com inovações no mundo digital (Prieger, 2013; Wirthmann, 2012). Esse fato é especialmente importante para países em desenvolvimento, como o Brasil. A expansão do acesso à Internet e à TV a cabo, e o aumento da qualidade dos serviços, assim como seus efeitos implícitos na taxa de crescimento dos municípios brasileiros são apresentados por Carvalho et al. (2017). Estudos anteriores que analisam os determinantes do acesso às TICs, considerando as características socioeconômicas das famílias como Nishijima et al. (2016), Demoussis & Giannakopoulos (2006), Vicente & López (2011) ou Macedo (2010) demonstram que as desigualdades de acesso estão fortemente relacionadas à renda e à educação. Fora do contexto brasileiro, Dasgupta et al. (2008), Pâmtea & Martens (2013), Vicente & Lopez (2011) e Zhang (2013) mostram que as características socioeconômicas, culturais e geográficas podem estar relacionadas às oportunidades para o acesso às TIC e ao seu uso entre indivíduos em diferentes países. Esses estudos reforçam a importância de considerar as características socioeconômicas ao analisar os fatores determinantes do acesso à Internet.

Levando em conta o acesso em países desenvolvidos, Anderson & Whalley (2015) analisam o papel das bibliotecas públicas em áreas carentes e mostram que esses serviços são essenciais para comunidades com renda insuficiente, nas quais essa pode ser a única fonte de acesso à Internet. Nossa pesquisa se conecta a esse artigo ao considerar o acesso à Internet pelas famílias em outros locais fora do domicílio. Sob a ótica dos países em desenvolvimento, Tirado-Morueta et al. (2017) estudam o caso do Equador, onde analisam alunos do ensino médio, com idades entre 16 e 18 anos, e verificam em que grau o status da família, relacionado à classe social, está associado aos diferentes níveis de acesso à Internet. Eles constatam que a influência do status familiar do aluno não é tão importante à medida que os estudantes passam de um nível de acesso à Internet para outro⁴. Já Enyon (2009) analisa a divisão digital em termos de educação e aprendizagem, constatando que o uso da Internet é moldado por fatores socioeconômicos, demográficos e de atitude. Particularmente próximo de nossa análise está o artigo de Nishijima et al. (2016) sobre a divisão digital no Brasil. Em contraste com a nossa abordagem, os autores utilizaram dados socioeconômicos da Pesquisa de Amostra de Domicílios (PNAD) para os anos pré-crise entre 2005 e 2013 e estimaram modelos logísticos usando dados trimestrais para avaliar a desagregação entre diferentes grupos populacionais no Brasil.

3. Metodologia

3.1. Dados

Este artigo utiliza os microdados de 2012 a 2017 da Pesquisa TIC, que é uma pesquisa anual realizada pelo Centro de Pesquisa para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic), atuando sob os auspícios da UNESCO. O Cetic é o braço executivo

⁴ O primeiro nível é caracterizado pelo acesso físico e operacional, o segundo pelo uso e alfabetização no uso da Internet, e o terceiro pelos benefícios sociais, econômicos.

do Comitê de Gestão da Internet no Brasil (CGI), responsável pela coordenação e integração dos serviços de internet no país e é composto por membros do governo, do setor empresarial e da comunidade acadêmica. Além das capitais federais brasileiras, a pesquisa abrange os municípios que fazem parte do programa de governo “Cidades Digitais”⁵. Consideramos as características básicas da família, como renda familiar e escolaridade, região de residência e se a família tinha acesso à Internet e TV a Cabo em casa. Também analisamos famílias sem Internet em casa, mas com acesso em outro local, e as famílias sem Internet em casa devido ao custo elevado desse serviço. Seguindo a definição do Comitê de Datação do Ciclo Econômico (CODACE), definimos a variável crise como um indicador para 2014 e os anos seguintes com taxas de crescimento do PIB negativas ou nulas. Essas taxas apresentam quedas de mais de 4% durante os anos de 2015 e 2016 (IBGE, 2018). A Tabela 1 mostra as estatísticas resumidas das variáveis dependentes e independentes utilizadas no estudo, contendo o número de observações (N), a média e o desvio padrão, e seus valores máximo e mínimo.

Estatística	Obs.	Média	Desvio Padrão	Min	Pctl (25)	Pctl (75)	Max
Acesso à Internet em casa? (em %)	114.671	0,52	0,50	0	0	1	1
Acesso à Internet em outro lugar? (em %)	114.671	0,11	0,32	0	0	0	1
Não tem Acesso à Internet por causa do Custo Elevado? (em %)	57.765	0,56	0,50	0	0	0	1
Renda Familiar (categorias 1 até 6)	103.885	2,49	1,30	1	1	3	6
Escolaridade (categorias 1 até 4)	114.450	2,30	0,88	1	2	3	4
Recessão (em %)	114.671	0,78	0,41	0	1	1	1
TV a Cabo? (em %)	114.671	0,31	0,46	0	0	1	1

Tabela 1 – Estatísticas descritivas, 2012-2017

3.2. Especificação Econométrica

Primeiro, testamos se a recessão brasileira teve efeito significativo no acesso à Internet das famílias em diferentes regiões do Brasil. Seguimos o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e dividimos o Brasil em cinco regiões distintas: Centro-Oeste, Norte, Nordeste, Sul e Sudeste. As regiões Sul e Sudeste são as mais desenvolvidas, enquanto as regiões Norte e Nordeste são as menos. Utilizamos o seguinte modelo econométrico:

$$y_{hrt} = \theta ano_t + \beta recessão_t + \sum_r^n região_r + \varepsilon_{hrt} \quad (1)$$

⁵ Esse programa visa promover a inclusão digital nos municípios, com foco na melhoria da qualidade dos serviços e na gestão pública, por meio da instalação de redes, pontos de acesso público à Internet, sistemas de gestão na área pública e de treinamento.

em que h , r e t são domicílio, região e tempo, respectivamente. A variável dependente é uma *dummy* se um domicílio h na região r teve acesso à internet em casa no ano t . Além disso, analisamos o efeito complementar do acesso à Internet, usando também como variável dependente se a família acessa a Internet em outro local além do domicílio, e se a família não tem acesso à Internet em casa devido ao custo elevado desse serviço. Quando $y_{hrt} = 1$, o domicílio h na região r no momento t tinha acesso à Internet em casa e $y_{hrt} = 0$, caso contrário. Adicionamos *dummies* para as cinco diferentes regiões brasileiras, porque diferem significativamente entre si. Ano_t é uma tendência temporal linear que captura como o acesso à Internet no Brasil evolui com o tempo. $Recessão_t$ é a nossa *dummy* de recessão, que é igual a um se $t \geq 2014$, e zero, caso contrário. Nosso coeficiente de interesse é β , que esperamos ser negativo, ou seja, a recessão no Brasil impactou negativamente a probabilidade de ter acesso à Internet em casa. Segundo, também testamos se a recessão teve impactos distintos nas diferentes regiões brasileiras. Para isso, usamos o seguinte modelo aumentado:

$$y_{hrt} = \theta ano_t + \beta recessão_t + \sum_r^n região_r + \sum_r^n \beta_r recessão_t \times região_r + \varepsilon_{hrt} \quad (2)$$

ou seja, interagimos o indicador de recessão com as *dummies* das cinco diferentes regiões. Enquanto os efeitos fixos da região ($\sum_r^n região_r$) absorvem a média do fator idiossincrático invariante no tempo de cada região, ao longo de todo o período de tempo, o termo de interação $recessão_t \times região_r$ absorve apenas a parte diferencial desse relacionamento que ocorreu durante a recessão. Mantemos a tendência linear do tempo, como na especificação anterior. Terceiro, incluímos os determinantes explícitos do acesso à Internet e verificamos se eles foram alterados devido à recessão, usando termos de interação com a *dummy* de recessão. Utilizamos o seguinte modelo econométrico:

$$y_{hrt} = \theta ano_t + \beta recessão_t + \sum_r^n região_r + \rho determinantes_{ht} + \sum_r^n \beta_r recessão_t \times r determinantes_{ht} + \varepsilon_{hrt} \quad (3)$$

onde controlamos idiossincrasias regionais invariantes no tempo usando efeitos fixos de região. Nossos determinantes de interesse são:

- Renda familiar: esperamos que famílias com baixa renda sejam afetadas mais severamente pela recessão do que aquelas com alta renda⁶.
- Escolaridade: Esperamos que famílias com baixos níveis de educação sejam afetadas mais severamente pela recessão do que aquelas com alto nível de educação⁷.

⁶ Discretizamos a variável em sextis: até 1 salário mínimo (SM) [1]; entre 1 e 2 SM [2]; entre 2 e 3 SM [3]; entre 3 e 5 SM [4]; entre 5 e 10 SM [5]; mais de 10 SM [6].

⁷ Descrevemos a variável em quartis: analfabetismo/educação infantil [1]; ensino fundamental [2]; ensino médio [3]; ensino superior [4].

- TV a cabo: Esperamos que as famílias com acesso à TV a cabo tenham maior probabilidade de ter acesso à Internet e que as taxas de acesso à Internet das famílias com TV a cabo sejam menos sensíveis à recessão econômica⁸.

Para maior robustez, também executamos novamente todas as especificações econométricas usando um modelo Probit. Essa robustez é importante para confirmar a validade de nossas estimativas, porque a variável dependente é binária.

4. Resultados

Nesta seção, mostramos nossos resultados empíricos sobre o papel da recessão brasileira no acesso à Internet das famílias em casa e em outros locais. As estimativas na Tabela 2 sugerem que a recessão de 2014-2017 teve impacto negativo no acesso à Internet. Estimamos o modelo linear Pooled OLS e o não linear Probit. Os resultados das Colunas 1 e 2 sugerem que, considerando a variável recessão, a parcela das famílias com acesso à Internet diminuiu 8,2 pontos percentuais (p.p.). Independentemente do efeito da crise, existe uma tendência linear que aumenta a participação das famílias em 0,5 p.p. a cada ano, o que pode estar relacionado com as metas do governo federal em aumentar a parcela da população que pode se beneficiar do acesso à Internet em banda larga. Quando analisamos as estimativas do modelo Probit (Coluna 2), os resultados apresentam comportamentos semelhantes no que se refere à participação das famílias e ao impacto da recessão. O coeficiente estimado da variável recessão é igual a -0,21, correspondendo a um efeito marginal de 0,08 p.p. Em todas as regressões, adicionamos *dummies* para as regiões brasileiras. As grandes heterogeneidades das estimativas observadas podem estar refletindo as disparidades sociais e econômicas das regiões brasileiras. Nessa análise, a região da base de referência é o Centro-Oeste (omitida na regressão). As estimativas sugerem que o Sudeste tem acesso médio à Internet em casa acima do Centro-Oeste (6,5 pontos percentuais a mais). As estimativas da região Sul não foram significativas, ou seja, não encontramos diferenças estatísticas entre o nível médio de acesso à Internet no Sul em relação ao Centro-Oeste. Os dados sugerem ainda que as regiões menos desenvolvidas - Norte e Nordeste - têm nível médio de acesso à Internet em casa abaixo dos padrões da região Centro-Oeste (11,3 e 10,1 pontos percentuais, respectivamente).

A partir dos resultados das Colunas 3 e 4, podemos analisar o papel da recessão no acesso à Internet em casa. Para esse estudo, a região de base de referência é o Centro-Oeste novamente (omitida na regressão). Quando analisamos a interação entre o indicador de recessão e as cinco regiões, as estimativas sugerem que o Sul apresenta uma queda de 2,6 p.p. no acesso à Internet em casa, em comparação ao Centro-Oeste. Observamos coeficientes positivos nas outras regiões. No entanto, o efeito marginal composto (soma da variável recessão isolada e interação de interesse) também é negativo para todas as regiões, exceto para o Norte. Os dados sugerem que esse comportamento pode ser devido ao fato de que essa região é menos desenvolvida e com grandes desigualdades sociais. Poucas famílias têm acesso à Internet, comparado àquelas com melhor renda, o que sugere que seriam menos sensíveis a choques macroeconômicos, como uma recessão. Quando usamos o modelo Probit (Coluna 4), encontramos resultados semelhantes.

⁸ Usamos uma variável *dummy*: 1 quando há TV a cabo e 0, caso contrário.

Variável Dependente:	Acesso à Internet em casa?			
	OLS	Probit	OLS	Probit
	(1)	(2)	(3)	(4)
Recessão	-0,082*** (0,006)	-0,210*** (0,014)	-0,119*** (0,013)	-0,302*** (0,033)
Ano	0,005*** (0,001)	0,012*** (0,004)	0,005*** (0,001)	0,013*** (0,004)
Norte	-0,113*** (0,007)	-0,284*** (0,017)	-0,230*** (0,014)	-0,584*** (0,037)
Nordeste	-0,101*** (0,006)	-0,256*** (0,014)	-0,133*** (0,012)	-0,338*** (0,032)
Sul	0,006 (0,006)	0,015 (0,016)	0,026* (0,013)	0,069** (0,035)
Sudeste	0,065*** (0,006)	0,167*** (0,014)	0,041*** (0,012)	0,109*** (0,031)
Recessão × Norte			0,151*** (0,016)	0,385*** (0,042)
Recessão × Nordeste			0,040*** (0,014)	0,103*** (0,036)
Recessão × Sul			-0,026* (0,015)	-0,069* (0,039)
Recessão × Sudeste			0,031** (0,014)	0,072** (0,035)
Constante	-9,369*** (2,955)	-24,780*** (7,563)	-10,165*** (2,954)	-26,377*** (7,562)
Região EF?	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	114.671	114.671	114.671	114.671
R ²	0,026		0,027	
Log Likelihood		-77.907		-77.819
Akaike Inf. Crit.		155.828		155.660

Nota: A tabela mostra a saída da regressão (1) nas Colunas 1 e 2 e da regressão (2) nas Colunas 3 e 4.

Usamos os erros padrão robustos de Newey e West (1987). Níveis de significância estatística:

*** p-Value <0,01, ** p-Value <0,05, * p-Value <0,10

Tabela 2 – Estimativas por OLS e Probit do acesso à Internet em casa, 2012-2017

Para os determinantes do acesso à Internet em casa, os resultados da regressão do modelo OLS são apresentados na Tabela 3. Dada a semelhança entre o OLS anterior e as estimativas Probit, continuamos apenas com o modelo OLS para economizar espaço e facilitar a interpretação. Da Coluna 1 à 3, adicionamos diferentes determinantes isoladamente para ver seus efeitos no acesso à Internet e se essa relação estatística mudou durante a recessão brasileira. Testamos a renda familiar, a escolaridade e a existência de TV a cabo em casa, respectivamente. Nossa comparação de base na Coluna 1 (determinante da renda familiar) são as famílias que ganham até 1 salário mínimo no Brasil (classe 1), que representa a variável omitida. Os efeitos marginais da renda são todos positivos em relação à famílias que ganham até 1 SM, o que sugere que famílias com menor renda são as que tem menos acesso à Internet. Os coeficientes tornam-se maiores à medida que segue para classes mais ricas. Considerando a interação, os dados sugerem que, durante a recessão, as famílias mais pobres foram afetadas mais fortemente do que as mais ricas. Para a classe média (3 a 5 SM) as estimativas sugerem uma queda no acesso à Internet de 12,6 p. p. menor do que a classe mais pobre em termos de renda. Na Coluna 2 nossa comparação de base de referência são famílias com

educação infantil ou analfabetas (classe 1). As estimativas sugerem que os domicílios com ensino fundamental (classe 2) têm, em média, uma probabilidade 25,1 p.p. mais alta de ter acesso à Internet em casa, relativamente à classe menos instruída. O menor impacto da recessão sobre as famílias com menos escolaridade pode ser explicado pelo fato de que a renda tende a aumentar com o nível de escolaridade. Para essas famílias com maior nível de escolaridade, maior a probabilidade de terem acesso à internet. Isso está alinhado com Nishijima et al. (2016), que observam que a renda é um dos principais determinantes da capacidade de uso das TIC.

Variável Dependente:	Acesso à Internet em Casa?		
	(1)	(2)	(3)
Determinantes Marginal			
Ano	0,035*** (0,001)	0,013*** (0,001)	0,028*** (0,001)
Recessão	-0,005*** (0,001)	-0,027** (0,013)	-0,032*** (0,006)
Renda [2]	0,216*** (0,010)		
Renda [3]	0,460*** (0,010)		
Renda [4]	0,631*** (0,011)		
Renda[5]	0,713*** (0,013)		
Renda [6]	0,772*** (0,016)		
Escolaridade [2]		0,251*** (0,013)	
Escolaridade [3]		0,506*** (0,013)	
Escolaridade [4]		0,727*** (0,014)	
TV a Cabo			0,618*** (0,006)
Interações (com Recessão)			
Recessão × Renda [2]	-0,056*** (0,010)		
Recessão × Renda [3]	-0,109*** (0,011)		
Recessão × Renda [4]	-0,126*** (0,012)		
Recessão × Renda [5]	-0,110*** (0,015)		
Recessão × Renda [6]	-0,114*** (0,020)		
Recessão × Escolaridade [2]		-0,028** (0,013)	
Recessão × Escolaridade [3]		-0,031** (0,014)	
Recessão × Escolaridade [4]		-0,092*** (0,015)	
Recessão × TV a Cabo			-0,222*** (0,007)
Região EF?	Sim	Sim	Sim
Observações	103.885	114.450	114.671
R ²	0,186	0,178	0,196

Nota: A tabela mostra a saída da regressão (3). A variável dependente é binária e indica se a família tem acesso à Internet em casa ($y = 1$) ou não ($y = 0$). Usamos os erros padrão robustos de Newey e West (1987). Níveis de significância estatística: *** p -Value < 0,01, ** p -Value < 0,05, * p -Value < 0,10

Tabela 3 – Estimativas por OLS dos determinantes do acesso à Internet, 2012-2017

Ao analisar as famílias com e sem TV a cabo e se a recessão se associou diferentemente a elas em termos de acesso à Internet, os dados sugerem que os domicílios com TV a cabo têm probabilidade de ter acesso à Internet em casa 61,8p.p. mais altos do que aqueles sem TV a cabo (na Coluna 3 nossa comparação de base de referência são famílias sem TV a cabo). Isso pode estar relacionado ao fato de que a existência de TV a cabo em casa sugere melhores condições financeiras da família

É importante enfatizar que, quando analisamos a variável acesso à Internet em outro local, os resultados para o efeito da recessão são opostos, como mostra a Tabela 4. Os coeficientes associados à recessão são todos positivos, sugerindo que, em alguns momentos de crise, os indivíduos usam a internet em outros lugares, como telefones celulares ou lojas específicas nas quais podem acessar a internet ou no trabalho. As estimativas sugerem que as regiões Norte e Nordeste tem acesso médio à Internet fora do domicílio acima do Centro-Oeste (7,0 e 1,5 pontos percentuais acima).

Variável Dependente:	Acesso à Internet em outro local?			
	OLS	Probit	OLS	Probit
	(1)	(2)	(3)	(4)
Recessão	0,024*** (0,004)	0,186*** (0,020)	0,027*** (0,008)	0,189*** (0,049)
Ano	0,014*** (0,001)	0,075*** (0,005)	0,014*** (0,001)	0,074*** (0,005)
Norte	0,070*** (0,004)	0,304*** (0,021)	0,084*** (0,009)	0,468*** (0,052)
Nordeste	0,015*** (0,004)	0,073*** (0,019)	0,007 (0,008)	0,051 (0,048)
Sul	-0,023*** (0,004)	-0,131*** (0,021)	-0,024*** (0,009)	-0,230*** (0,056)
Sudeste	-0,037*** (0,004)	-0,211*** (0,019)	-0,026*** (0,008)	-0,248*** (0,049)
Recessão × Norte			-0,018* (0,010)	-0,203*** (0,057)
Recessão × Nordeste			0,011 (0,009)	0,026 (0,052)
Recessão × Sul			0,001 (0,010)	0,114* (0,061)
Recessão × Sudeste			-0,013 (0,009)	0,043 (0,053)
Constante	-28,862*** (1,900)	-151,514*** (9,733)	-28,937*** (1,900)	-149,677*** (9,732)
Observações	114.671	114.671	114.671	114.671
R²	0,020		0,020	
Log Likelihood		-39.956		-39.930
Akaike Inf. Crit.		79.925		79.882

Nota: Regressão (1) nas Colunas 1 e 2 e a Regressão (2) nas Colunas 3 e 4. Usamos os erros padrão robustos de Newey e West (1987). Níveis de significância estatística: *** *p-Value* <0,01, ** *p-Value* <0,05, * *p-Value* <0,10

Tabela 4 – Estimativas por OLS e Probit do acesso à Internet em outro local, 2012-2017

Na Tabela 5, quando analisamos a variável não tem acesso à Internet devido ao custo elevado desse serviço, os coeficientes associados à recessão são todos positivos, sugerindo que, em momentos de crise, há diminuição dos níveis de consumo das famílias o que pode refletir na redução das despesas com serviços de telecomunicação. No Brasil, de acordo com IBGE (2018), as famílias consumiram 4,2% a menos em 2016 comparado com 2015 e as taxas de desemprego alcançaram o patamar de 8,5% e 11,5%, nestes anos, reflexo do processo de desaceleração muito forte da sua economia.

Na Coluna 1 nossa comparação de base de referência é a região Norte. As estimativas sugerem que no Sudeste as famílias que não tem acesso à Internet em casa devido ao custo elevado em média é abaixo do Norte (7,8 p.p. a menos). O efeito marginal composto (soma da variável recessão isolada e interação de interesse) é positivo para todas as regiões. Os dados sugerem que esse comportamento pode ser devido ao fato de que as famílias são bastante sensíveis a choques macroeconômicos, como uma recessão.

Variável Dependente:	Custo Elevado?			
	OLS	Probit	OLS	Probit
	(1)	(2)	(3)	(4)
Recessão	0.080*** (0.004)	0.202*** (0.011)	0.205*** (0.011)	0.534*** (0.028)
Ano	0.049*** (0.001)	0.125*** (0.003)	0.048*** (0.001)	0.123*** (0.003)
Nordeste	-0.014** (0.006)	-0.038** (0.017)	0.072*** (0.009)	0.188*** (0.023)
Sudeste	-0.078*** (0.007)	-0.204*** (0.017)	-0.025*** (0.010)	-0.066*** (0.025)
Sul	-0.034*** (0.007)	-0.089*** (0.019)	0.043*** (0.010)	0.112*** (0.027)
Centro Oeste	-0.037*** (0.009)	-0.098*** (0.023)	-0.005 (0.013)	-0.013 (0.034)
Recessão × Nordeste			-0.179*** (0.013)	-0.473*** (0.033)
Recessão × Sudeste			-0.118*** (0.013)	-0.311*** (0.035)
Recessão × Sul			-0.162*** (0.015)	-0.429*** (0.039)
Recessão × Centro Oeste			-0.081*** (0.018)	-0.217*** (0.047)
Constante	-98.399*** (2.541)	-252.735*** (6.629)	-96.093*** (2.558)	-247.428*** (6.693)
Observações	57.765	57.765	57.765	57.765
R ²	0.029		0.033	
Log Likelihood		-38.729		-38,617
Akaike Inf. Crit.		77.472		77.255

Nota: A tabela mostra a saída da regressão (1) nas Colunas 1 e 2 e da regressão (2) nas Colunas 3 e 4. Usamos os erros padrão robustos de Newey e West (1987). Níveis de significância estatística: *** p-Value <0,01, ** p-Value <0,05, * p-Value <0,10

Tabela 5 – Estimativas das regressões dos Modelos OLS e Probit para não ter acesso à Internet em casa devido ao Custo Elevado, 2012-2017

4. Conclusões

Os dados sugerem que a recessão brasileira de 2014-2017 teve impacto negativo substancial nas taxas de acesso à Internet. Esse efeito foi corroborado, não apenas pelo momento em que as famílias reduziram sua demanda por internet em casa, mas também indicaram que a redução ocorreu devido ao custo alto. Dado que o custo absoluto não

mudou substancialmente, reforça a queda do poder de compra domiciliar durante a recessão econômica. Além disso, ficou óbvio que famílias tentam substituir o acesso de internet em casa por outros meios mais econômicos.

Os resultados reforçam a importância de características socioeconômicas, como educação e renda, na determinação do acesso à Internet. Assim, o aumento do desemprego e o menor PIB não apenas prejudicam diretamente as famílias, mas também reduzem sua capacidade de sustentar seu acesso às TIC's. As regiões nas quais o acesso à Internet era mais difundido sofreram uma redução relativa mais alta nas taxas de acesso.

Pesquisas adicionais podem explorar o papel do desenvolvimento de tecnologias sem fio e o uso de smartphones para acessar a Internet e seus efeitos no bem-estar. Bartikoski et al. (2018) fez um estudo de caso de 21 países e descobriu que a situação econômica pessoal percebida do cidadão é um mediador da relação entre o tipo de acesso à Internet, que pode ser banda larga ou móvel, e a satisfação com a vida. Eles mostram que o tipo de acesso à Internet pode ser importante para o bem-estar. Esse é um caminho importante na qual nosso trabalho poderá ser estendido no futuro.

Referências

- Almeida, R., Moreira, T., & Ehrl, P.: *Social and economic convergence, Fiscal Federalism Conference Version* (2017). Retrieved from <http://mesp.unb.br/images/eventofederalismo/trabalhos/Social-and-economic-convergence.pdf>.
- Anderson, G., & Whalley, J. (2015). Public library internet access in areas of deprivation: The case of Glasgow. *Telematics and Informatics*, 32(3):521 – 537.
- Bartikoski, B., Laroche, M., Jamal, A., & Yang, Z. (2018). The type-of-internet-access digital divide and the well-being of ethnic minority and majority consumers: A multi-country investigation. *Journal of Business Research*, 82:373 – 380.
- Cajueiro, D. O., & Tabak, B. M. (2008). Testing for time-varying long-range dependence in real state equity returns. *Chaos, Solitons Fractals*, 38(1):293 – 307.
- Carvalho, A. Y., Mendonça, J.M., & Silva, J.J. (2017). Avaliando o efeito dos investimentos em telecomunicações sobre o PIB. *Texto para Discussão nº 2336*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA.
- Coelho, F. C., Silva, T. C., & Ehrl, P. (2019). Internet access in brazilian households: Evaluating the effect of an economic recession. In Rocha, Á., Adeli, H., Reis, L. P., and Costanzo, S., editors, *New Knowledge in Information Systems and Technologies*, pages 716–725, Cham. *Springer International Publishing*.
- Dasgupta, S., Lall, S., & Wheeler, D. (2005). Policy reform, economic growth and the digital divide. *Oxford Development Studies*, 33(2):229–243.
- Demoussis, M., & Giannakopoulos, N. (2006). Facets of the digital divide in Europe: Determination and extent of internet use. *Economics of Innovation and New Technology*, 15(3):235–246.
- Eynon, R. (2009). Mapping the digital divide in Britain: implications for learning and education. *Learning, Media and Technology*. 34 (4), 277 - 290.

- Fazio, D. M., Silva, T. C., Tabak, B. M., & Cajueiro, D. O. (2018). Inflation targeting and financial stability: Does the quality of institutions matter? *Economic Modelling*, 71:1–15.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: SIDRA. (2018). Retrieved from <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6601>.
- Macedo, H.R. (2010). Análise dos possíveis determinantes de acesso à internet em banda larga nos municípios brasileiros. *Texto Paraense Discussão*, 1503 Brasília, IPEA.
- Nishijima, M., Ivanauskas, T. M., & Sarti, F. M. (2017). Evolution and determinants of digital divide in Brazil (2005–2013). *Telecommunications Policy*, 41(1):12 – 24.
- Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR - NIC.br: Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação: *Pesquisa TIC Domicílio*, ano 2012,2013,2014,2015,2016,2017. Retrieved from <https://www.cetic.br/pesquisa/domicilios/>
- Pantea, S., & Martens, B. (2014). Has the digital divide been reversed? Evidence from five EU countries. *Electronic International Journal of Time Use Research*, 11(1):55 – 75.
- Prieger, J. E. (2015). The broadband digital divide and the benefits of mobile broadband for minorities. *The Journal of Economic Inequality*, 13(3):373 – 400.
- Silva, T. C., & Zhao, L. (2015). High-level pattern-based classification via tourist walks in networks. *Information Sciences*, 294:109–126.
- Silva, T. C., Coelho, F. C., Ehrl, P., & Tabak, B. M (em prelo). Internet access in recessionary periods: The case of Brazil. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*.
- Souza, S. R., Tabak, B. M., Silva, T. C., & Guerra, S. M. (2015). Insolvency and contagion in the brazilian interbank market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 431:140–151.
- Tirado-Morueta, R., Mendonza-Zambrano, D. M., Aguaded-Gómez, J.I., & Marín-Gutiérrez, I. (2017). Empirical study of a sequence of access to internet use in Ecuador. *Telematics and Informatics*, 34(4):171 - 183
- Vicente, M. R., & López, A. J. (2011). Assessing the regional digital divide across the european union-27. *Telecommunications Policy*, 35(3):220 – 237.
- Zhang, X. (2013). Income disparity and digital divide: The internet consumption model and cross-country empirical research. *Telecommunications Policy*, 37(6):515 – 529.
- Wirthmann, A. (2012). The European survey on the use of information and communication technologies in households and by individuals, Vienna: *Centre for Social Innovation*. 30.
- World Bank (2018): The Little Data Book on Information and Communication Technology, Retrieved from https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/ldb/LDB_ICT_2018.pdf.

Aplicación web para la gestión de diplomas digitales en centros de capacitación mediante firma electrónica y blockchain

Eduardo Fernandez¹, Josselyne Gutierrez², Ramiro Delgado², Roberto Lopez¹

ua.eduardofernandez@uniandes.edu.ec, jjgutierrez2@espe.edu.ec, rndelgado@espe.edu.ec, capostgrado@uniandes.edu.ec

¹ Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES, Ambato, 180101, Tungurahua, Ecuador.

² Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, 171103, Quito, Ecuador.

Pages: 498–509

Resumen: Los procesos de capacitación se han diversificado en el tiempo; muchas entidades públicas y privadas realizan eventos que son avaladas mediante certificados que en la mayoría de los casos se emiten manualmente usando hojas de cálculo y procesadores de texto. Este proceso genera un costo de impresión adicional; además, si se comenten errores, la corrección y nueva emisión aumenta los gastos. El objetivo del proyecto fue automatizar la emisión de certificados, los mismos que podrían ser fácilmente descargados desde cualquier parte del mundo y a cualquier hora; autenticados mediante firma electrónica y Blockchain como medida de seguridad adicional. Los requerimientos fueron establecidos consultando a una muestra de 150 entidades que realizan procesos de capacitación; luego, utilizando las mejores herramientas de desarrollo, acorde a las necesidades, se obtuvo como resultado una aplicación web que permite gestionar el registro, emisión y entrega de certificados de capacitación de manera eficiente.

Palabras-clave: Aplicación-web, gestión-diplomas, certificados-digitales, firma electrónica, blockchain.

Web application for the management of digital diplomas in training centers using electronic signature and blockchain

Abstract: The training processes have been diversifying over time, many public and private entities hold events that are guaranteed by certificates that normally must be manually printed using electronic sheets and word processors. This process involves some difficulties such as high individual cost, if mistakes are made in certificates, their correction and emission increases expenses. The objective of the project was to automate this management to obtain digital certificates that can be easily downloaded from any part of the world and at any time authenticated by electronic signature and Blockchain as an additional security measure. The requirements were established by consulting a sample of 150 entities that carry out

training processes; then, using the best development tools, according to the needs, a web application was obtained that allow to manage the registration, printed and delivery of training certificates efficiently.

Keywords: Web application, diplomas-management, digital-certificates, electronic signature, blockchain.

1. Introducción

La capacitación es parte fundamental de todos los procesos educativos y empresariales. Los procesos de capacitación realizados por Instituciones de Educación Superior (IES) o Técnicas son distintas a las realizadas por empresas; no obstante, ambos al final del proceso entregan certificados de participación y/o aprobación. Todo tipo de capacitación es una forma de intervención en una organización; el cambio o implementación de nuevas prácticas no es el único punto que se debe tratar sino también el mejoramiento de las existentes (Gore, 2013).

La capacitación es un esfuerzo continuo para mejorar las competencias de los empleados y el desempeño organizacional (Wayne, 2010), por esta razón los cursos han perdurado a través de los tiempos, de esta forma los aprendices se vuelven capaces de ejercer su trabajo, es decir, se convierten en aprendices expertos. El desarrollo de competencias por otra parte, implica un aprendizaje que va más allá del trabajo actual y tiene un enfoque a largo plazo ayudando a los empleados a mantenerse a la par de la organización, es decir, si la empresa evoluciona y crece, los empleados también lo harán, mejorando la moral y productividad, siendo una relación beneficiosa con el cliente dejándolo satisfecho con el producto o servicio (Wayne, 2010).

Los centros de educación continua, son entidades que promueven permanentemente procesos de capacitación, con el objetivo de fomentar el avance tecnológico y la modernización a la sociedad. Al hablar de Ecuador los principales Centros de Educación Continua son los que pertenecen a: Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES”, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Universidad Técnica de Machala, Universidad Católica de Cuenca, Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), entre otras.

En este artículo se presenta una propuesta de solución al problema de gestión de diplomas al pasar de una emisión manual a un proceso digital, para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Realizar una investigación bibliográfica sobre el proceso de gestión de diplomas, los tipos de aplicaciones web y distintas herramientas de desarrollo.
- Realizar el diagnóstico del proceso actual de gestión de diplomas, que es manual, identificando las posibles mejoras.
- Desarrollar una aplicación web genérica que permita la elaboración, verificación y entregade diplomas de manera digital, aplicable a cualquier Centro de Educación Continua.
- Implantar y validar el prototipo en varios centros.

La hipótesis planteada en este proyecto fue: “El uso de aplicaciones web para la gestión de diplomas en un Centro de Educación Continua disminuye el tiempo de gestión y entrega de certificados, así como los costos de operación”.

2. Justificación

El desarrollo del proyecto surgió del diagnóstico de una muestra de instituciones y empresas que brindan continuamente capacitaciones y que elaboran los diplomas y certificados manualmente, un ejemplo fue la Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES” que ofrece cursos de capacitación para profesores de la provincia de Tungurahua, en los que participan aproximadamente de 800 a 1000 por semestre. La entrega de cientos de certificados es demorosa y costosa, si se realiza la automatización de la gestión de certificados, el proceso durará apenas una hora y sin costo de impresión.

Los problemas de nombres o fechas erróneas son también solucionados con la aplicación propuesta porque el certificado puede ser editado fácilmente sin necesidad de procesos demorosos o los gastos extras de reimpresión. Otro de los beneficios que genera la aplicación para el empleado o estudiante es que no debe invertir su tiempo y dinero en el viaje a la institución por la entrega de los diplomas sino que puede descargarlo desde la comodidad de su hogar con un simple clic en cualquier momento, esto es realmente conveniente cuando el estudiante se encuentra en ciudades lejanas o que son de difícil acceso, evitando así costos por parte del usuario y gastos por la institución, que en situaciones de reimpresión o retiro, está obligada a enviar los diplomas a través de servicios de entrega.

En cuanto a la validez del diploma o certificado del participante es asegurado con el uso de firmas electrónicas, que también ayuda a agilizar el proceso de edición del certificado que actualmente es realizado a mano con la firma de las autoridades responsables de la capacitación. Otro punto para considerar son las falsificaciones constantes de diplomas, como es una realidad en Ecuador, donde cada mes hay 154 denuncias por uso de documentos falsos (Ortiz, 2016). Esto actos de corrupción solamente son posibles cuando todo el sistema de confianza y verificación es controlado por personas y por sistemas de información centralizados, lo que constituye un punto único de vulnerabilidad (Ramírez, 2019), por esta razón para confirmar la veracidad de los certificados se utiliza las firmas electrónicas, el código único en cada diploma y el uso de Blockchain.

3. Proceso de Gestión de Diplomas

Varias visitas y observaciones realizadas a los departamentos de educación continua de distintas instituciones, permitió evidenciar que la gestión de certificados se maneja de forma manual, teniendo algunas dificultades como:

- Demoras en la entrega de los diplomas.
- Costos elevados por gastos de impresión.
- Elevación de costos por correcciones y reimpresión.
- Molestia en el usuario por la obligación de realizar uno o varios viajes para el retiro del diploma respectivo.
- Dificultades de envío cuando el beneficiario es de otra región o con dificultades de movilización.

El proceso de gestión de Diplomas actual es demasiado lento a pesar de su simpleza, a continuación en la Figura 1, se muestra el proceso que es el mismo en muchas de las IES del Ecuador.

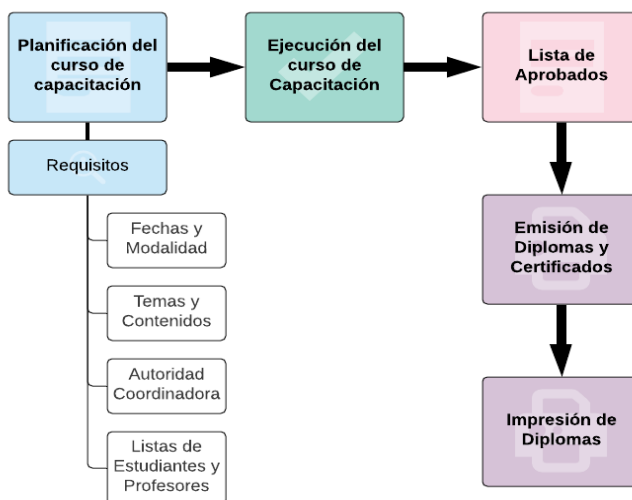


Figura 1 – Proceso de gestión de Diplomas de Capacitación

3.1. Análisis y Diseño

La solución propuesta es un sistema de información, que por su definición según (Joyanes, 2015) es aquel que recoge, procesa, almacena, analiza y distribuye información para un objetivo o finalidad específica. El propósito principal es la obtención de información correcta para personas que necesiten en el momento preciso, con contenido y formato adecuado, para maximizar la utilidad de la información, una empresa debe administrarla en forma apropiada, de la misma manera en que administra los demás recursos (Kendall K; Kendall J, 2007).

El análisis y diseño del sistema, finalidad de este proyecto, se basa en un enfoque sistemático de (Kendall K; Kendall J, 2007) que identifica problemas, oportunidades y objetivos analizando los flujos de información en las organizaciones y diseñando sistemas de información computarizados para resolver un problema.

Por último, se consideró el concepto de aplicación web según (Luján, 2017) como herramienta informática accesible desde cualquier navegador, bien sea a través de internet o bien a través de una red local, sin embargo, mediante cualquier navegador es posible acceder a todas las funcionalidades.

Las ventajas que provee una aplicación web son:

- No es necesario ningún tipo de instalación, ya que se puede acceder desde cualquier navegador.

- Es multiplataforma y compatible para cualquier tipo de dispositivo, ya sea una computadora, una tableta, o un teléfono inteligente, siendo el único requisito acceso a Internet.
- La potencia y los recursos a los que se accede no se encuentran en el dispositivo del cliente, sino lo soporta el servidor donde se encuentra alojada la aplicación, por lo tanto, no es necesario de un equipo de última generación para que la aplicación potente y eficaz.
- Accesible para cualquier navegador con acceso a Internet, porque se puede almacenar la información en la nube.
- Es adaptable, intuitivo, y de fácil actualización si fuera necesario (Orós, 2012).

4. Metodología

Se aplicó la denominada metodología ágil Scrum desarrollada por Ken Schwaber, Jeff Sutherland y Mike Beedle. Su principal característica es que el desarrollo de software se realiza mediante iteraciones, denominadas sprints, con una duración de 30 días. El resultado de cada sprint es probado por la organización; se realizan reuniones a lo largo proyecto, entre ellas destaca la reunión diaria de 15 minutos del equipo de desarrollo para coordinación e integración (Canós, Letelier, & Penadés, 2012).

La lista ordenada de funcionalidades requeridas es llamada Product Backlog, es decir se lista los requerimientos de la aplicación web, El Sprint Backlog es un subconjunto de ítems del Product Backlog y el plan para realizar en el Incremento del producto. Debido a que el Product Backlog está organizado por prioridad, el Sprint Backlog es construido con los requerimientos más prioritarios del Product Backlog y con aquellos que quedaron por resolver en el Sprint anterior (Cadavid, Martínez, & Vélez, 2013). La Figura 2 muestra el proceso de la metodología Scrum utilizada.

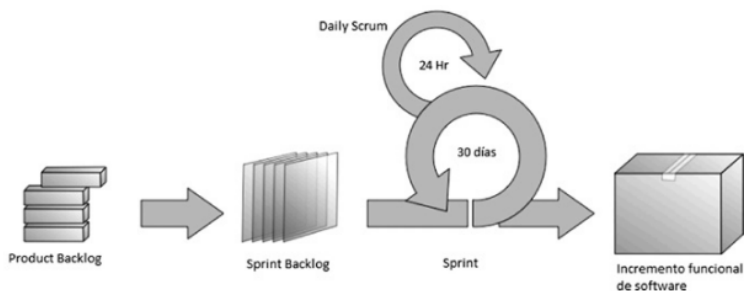


Figura 2 – Proceso de metodología ágil Scrum
Fuente: (Cadavid, Martínez, & Vélez, 2013).

5. Métodos

Se diseñó un estudio transversal de la problemática relacionada con la gestión de diplomas, se realizó una investigación de tipo cuantitativa, la misma que se llevó a cabo en la Universidad de las Fuerzas Armadas y la Universidad Regional Autónoma

de los Andes, a fin de caracterizar el proceso, determinar los principales problemas e implementar la aplicación web.

Los métodos utilizados fueron:

- **Analítico-sintético:** Para elaborar un marco teórico en base a la recopilación de información y la síntesis de esta.
- **Inductivo –Deductivo:** Para inducir una solución general a partir de una particular.
- La técnica definida para la investigación es la encuesta a los principales actores de los procesos de capacitación.

La muestra utilizada en este proyecto, para el análisis de los principales problemas y requerimientos del sistema, fue de 150 entidades públicas y privadas que realizan capacitaciones y emiten certificados.

6. Desarrollo

La aplicación web, tiene varios módulos, que después de analizar el proceso de emisión y optimizarlo son:

- *Profesores:* Registra todos los posibles profesores que pueden participar en los procesos de capacitación.
- *Cursos:* Define nombre y fecha del curso, así como también el profesor asignado.
- *Alumnos:* Registra a todos los inscritos que posiblemente participarán en el curso o evento académico. Puede hacerse un registro individual o masivo, se tiene un formato Excel para registrar masivamente a los inscritos.
- *Matrícula:* Se matricula individual o masivamente a los alumnos que han pagado, para ello solo se lo hace con los números de cédula que registraron en la inscripción.
- *Aprobaciones.* Se registra a los alumnos que aprueban el curso, puede hacerse una aprobación masiva o individual.
- *Formatos.* Se realiza el formato del diploma con las medidas requeridas, el diseño y adjuntando las firmas digitales, además genera el código único de cada certificado.
- *Reportes:* Se emiten reportes sobre el número de cursos, participantes y más.
- *Usuarios:* registro de usuarios que pueden acceder al sistema.

Una vez establecidos los módulos, se trabajó en el desarrollo de la aplicación web, para ello se escogieron las herramientas siguientes: Mysql como base de datos, PHP como lenguaje de programación, Apache como servidor web, y bootstrap como framework de trabajo. Luego de las pruebas de caja negra y caja blanca respectivas, se plasmó la aplicación web que tiene un módulo de libre acceso para descarga de diplomas y el compacto administrativo con los módulos definidos anteriormente.

6.1. PHP

PHP es un lenguaje de script que se ejecuta en el lado del servidor, cuyo código se incluye en una página web escrita en html clásico. Puede compararse por tanto a otros lenguajes

de script que funcionan según el mismo principio: Asp (Active Server Pages) o Jsp (Java Server Pages). Esta tecnología permite realizar páginas web dinámicas cuyo contenido puede ser completa o parcialmente generado en el momento de la invocación de la página, gracias a la información obtenida en un formulario o extraída de una base de datos (Heurtel, 2014).

6.2.MySQL

MySQL es un sistema gestor de base de datos relacionales, que además ofrece compatibilidad con php, perl, c y html, dispone de funciones avanzadas para administración y optimización de bases de datos para facilitar las tareas habituales. Implementa funcionalidades web, permitiendo un acceso seguro y sencillo a los datos a través de Internet. Se puede decir que MySQL es un sistema cliente servidor de administración de bases de datos relacionales diseñado para el trabajo tanto en Windows como en Unix y Linux. Además, determinadas sentencias pueden ser embebidas en código php y html para diseñar aplicaciones web dinámicas (Pérez, 2014).

6.3.Firmas Digitales

Las firmas digitales son utilizadas con un proceso que consta de dos partes, un método para firmar un documento, en este caso el diploma, de modo que sea infalsificable, y otro para verificar que la firma ha sido realizada por la autoridad a cargo de la capacitación (Ayestarán, 2001). Los protocolos de autenticación están basados en sistemas de encriptación de tipo asimétrico, la autenticación y la integridad de los certificados se salvaguardan con dos claves.

En la encriptación se generan dos claves complementarias y se asignan al usuario. Una de ellas es la clave de firma que es guardada en privado “clave privada”, mientras que la otra es una clave de verificación de firma “clave pública”. Por supuesto, es crucial que la clave privada no pueda ser generada a partir de la clave pública (Ayestarán, 2001). Con las firmas digitales, es posible asegurar la integridad de los diplomas.

6.4.Blockchain

Blockchain es una red P2P (PeertoPeer) o persona a persona para transferir y verificar la propiedad de activos, constituida en una base de datos distribuida, inicialmente utilizado en las transacciones de bitcoins, como su nombre lo indica es una cadena de bloques, donde cada bloque tiene el tiempo de creación, sus operaciones, un número cifrado “hash” que se crea a partir de la combinación de las transacciones contenidas y la referencia al bloque anterior (Ramírez, 2019), si existe alguna modificación en las transacciones, se modifica el hash del bloque, provocando la ruptura de la cadena y las transacciones se anulan.

La autoridad coordinadora es la encargada de firmar el certificado digital, la aplicación almacena el hash dentro de una transacción de Blockchain; la salida de la transacción se asigna al estudiante o empleado (Ramírez, 2019).

6.5. Aplicación

La aplicación web fue desarrollada con las herramientas previamente explicadas, se utilizó algunos conceptos de usabilidad para que la aplicación sea fácil de usar e intuitiva, el diseño de la página principal se muestra a continuación en la Figura 3.



Figura 3 – Modelo de descarga de diplomas.
Fuente: <http://cyssaambato.com/cert/public/>

El menú principal del sistema de gestión de capacitaciones, se muestra en la Figura 4, tiene los módulos que servirán para el registro de los cursos, docentes, estudiantes, y plantillas de los certificados.



Figura 4 – Menú principal del sistema.
Fuente: <http://cyssaambato.com>

7. Resultados

Como estudio previo de la problemática en las instituciones públicas y privadas que llevan a cabo procesos de capacitación del Ecuador se realizó una encuesta en Google Forms de 20 preguntas con temas como: costo operacional, tiempo de gestión, servicio al cliente, errores, reimpresión, y la utilidad de este proyecto. La encuesta fue enviada a través de correo electrónico a 500 representantes de dichas instituciones, de las cuales 150 fueron respondidas, y tomadas como muestra. En la Tabla 1 se resume los resultados obtenidos por tema.

Nº	Tema	Instituciones
1	Instituciones que generan costos adicionales con el proceso de gestión e impresión de diplomas.	150
2	Instituciones con un proceso que gasta demasiado tiempo.	127
3	Instituciones que exigen que los estudiantes retiren sus diplomas o certificados. (Mal servicio al cliente)	119
4	Instituciones que han tenido errores en nombres o fechas, siendo necesario reimprimir de certificados.	146
5	Instituciones que han tenido problemas con la falsificación de diplomas	112
6	Instituciones que consideran útil un sistema que permita generar rápidamente certificados de tipo digital.	136

Tabla 1 – Resultados de la encuesta

Los hallazgos más significativos son:

- El 100% de los investigados considera que la emisión de los diplomas genera un gasto adicional.
- El 84,67% de los consultados afirma que la gestión de diplomas es un proceso que consume mucho tiempo porque se producen demoras en la impresión de los diplomas.
- El 79,33% de los encuestados asegura que los estudiantes deben ir a la Institución a retirar sus certificados, de estos 70% afirman que los alumnos se molestan en este proceso. El resto de las entidades asumen el costo del envío a domicilio, pero eso incrementa el gasto operativo.
- El 74,66% asegura que tuvo algún tipo de problema o inconveniente con la falsificación de certificados.
- El 90,66% asegura que será muy útil un sistema que gestione automáticamente los diplomas, especialmente cuando son numerosos.

Con la información previa aseguramos la necesidad de la aplicación web del proyecto. El prototipo se implementó en la Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES” y en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, donde se evaluó los mismos temas del estudio previo. Se resumen los resultados como promedio de las dos entidades en la Tabla 2.

Nº	Tema	Resultado
1	Costos Adicionales.	0 USD
2	Tiempo empleado en emisión de certificados	<3 horas
3	Errores en nombres o fechas	15 %
4	Servicio al cliente (Tiempo de corrección de errores)	<1 hora
5	Falsificaciones	0

Tabla 2 – Resultados de la implementación

La aplicación web se califica como eficiente con los resultados obtenidos después de su implementación. No se generó gastos adicionales en el proceso; el tiempo empleado fue menor a 3 horas por la cantidad de alumnos registrados (aproximadamente 1000 estudiantes), se produjo un 15% de errores en la escritura de los nombres o fechas en el proceso y para la corrección de todos los errores producidos fue menor a una hora. Hasta el momento en el que el estudio finalizó no se presenció ningún inconveniente relacionado con la falsificación de certificados

8. Discusión

Para (Álvarez, 2017) uno de los parámetros para definir un servicio de calidad es la capacidad de respuesta, hace alusión a la rapidez con la que la empresa soluciona los problemas del cliente de manera efectiva. En base a este criterio, se considera que al implementar la aplicación web aceleró la entrega de diplomas en un 70% con el proceso de gestión al poder hacer una matrícula de estudiantes masiva, evitando la inscripción individual y manual; por otra parte, el estudiante recibió el diploma al instante solo con el requisito de tener un dispositivo con acceso a Internet, evitando los tediosos viajes a la IES por el retiro del diploma.

Las organizaciones que ofrecen educación, al no tener un producto físico disponible, compiten en el mercado económico a través de la satisfacción del consumidor, donde se valoran las características menos tangibles como la rapidez, la calidad, eficacia entre otros (Johnson G; Scholes K; Whittington R, 2006). Se afirma también por parte de (Fernández D; Fernández E, 2018) que la competitividad viene establecida por la aptitud que tienen las empresas para ofrecer bienes y servicios de alta calidad. Estos criterios son plenamente ratificados en la investigación porque se afirma por parte de la mayoría de las IES investigadas solo se produjo un 15% de errores, además la corrección de cada error es realizada en pocos minutos, sin necesidad de largos procesos.

Según (Hill C; Jones G, 2009) maximizar la ganancia para el inversionista es la finalidad principal de toda organización que genera utilidad, con la aplicación los gastos operativos se ven reducidos a los estrictamente necesarios a la ejecución del evento de capacitación, se disminuyó en un 70% los gastos operacionales de los cursos, y se evitó el uso de empresas de envío contratadas para la entrega de diplomas y certificados, es decir sin ningún gasto adicional.

En Ecuador los documentos falsos abundan en grandes cantidades, aproximadamente de 154 denuncias al mes, desde certificados a titulaciones (Ortiz, 2016), la aplicación web asegura la veracidad de los diplomas emitidos, las empresas pueden comprobar su validez, brindando información importante para la toma de decisiones, cabe recalcar que en una organización este proceso es decisivo en su crecimiento y evolución (Joyanes, 2015).

9. Conclusiones

La aplicación web para la gestión de diplomas disminuyó en un 70 % del total de los costos operacionales para la emisión de los procesos de capacitación, no generó ningún gasto adicional con empresas de imprenta o envío.

La usabilidad de la aplicación web fue valorada satisfactoriamente por la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y la Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES”, las necesidades de ambas IES fueron satisfechas completamente con los módulos desarrollados genéricamente, lo que garantiza la implementación en cualquier IES o empresa privada.

La seguridad implementada con firmas electrónicas y Blockchain en la prueba piloto fue satisfactoria y no presentó inconvenientes ni denuncias de falsificación, probando que una base de datos distribuida provee mejores beneficios.

Con la automatización de la gestión de diplomas, la imagen de la organización adquiere rasgos de modernidad, crecimiento y evolución; que beneficia en la competitividad y posicionamiento de la empresa en mercado con la mejora del servicio.

Referencias

- Álvarez, L. (2017). *La calidad del servicio*. Quito: Editorial Jurídica del Ecuador.
- Ayestarán, I. S. (2001). *La firma digital: una tecnología para la intercomunicación en la sociedad-red*. Revista española de documentación científica, 24, 51-69.
- Cadavid, A. N., Martínez, J. F., & Vélez, J. M. (2013). *Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250736004.pdf>
- Canós, J., Letelier, P., & Penadés, C. (2012). *Métodologías Ágiles en el Desarrollo de Software*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/476>
- Fernández D; Fernández E. (2018). *Comunicación empresarial y atención al cliente*. Madrid: Paraninfo.
- Gore, E. (2013). *El próximo management*. Buenos Aires: Granica.
- Heurtel, O. (2014). *Php y MySQL*. Barcelona: Eni.
- Hill C; Jones G. (2009). *Adminstración estratégica*. México: McGrawHill.
- Johnson G; Scholes K; Whittington R. (2006). *Dirección estratégica*. Madrid: Prentice Hall.
- Joyanes, L. (2015). *Sistemas de información en la empresa*. México: Alfaomega.
- Kendall K; Kendall J. (2007). *Análisis y diseño de sistemas*. México: Pearson.
- Luján, J. (2017). *Html5, Css y Javascript*. Bogotá: Alfaomega.
- Orós, J. (2012). *Guía practica de Xhtml, Javascript y Css*. México: Alfaomega Ra-Ma.
- Ortiz, S. (24 de Enero de 2016). *Cada mes hay 154 denuncias por uso de documentos falsos*. El Comercio. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-denuncias-documentos-falsos-delitos.html>

Pérez, C. (2014). *MySQL para windows y linux*. México: Alfaomega Ra-Ma.

Ramírez, D. (2019). *Diseño Y Desarrollo De Diplomas Académicos Digitales Mediante La Tecnología Blockchain*. Vitela, Repositorio Institucional, Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de vitela.javerianacali.edu.co

Wayne, R. (2010). *Administración de recursos humanos*. México: Pearson.

Plataforma de hardware de baixo custo para ensino de conceitos em Internet das Coisas

Paulo Henrique Sabo¹, André Kawamoto¹, Rafael Liberato¹, Paulo Cardieri²

phsabo@utfpr.edu.br, kawamoto@utfpr.edu.br, liberato@utfpr.edu.br, cardieri@decom.fee.unicamp.br

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão, Via Rosalina Maria dos Santos 1233, CEP 87301-899 Campo Mourão - PR - Brasil

² Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", CEP 13083-970, Campinas - SP - Brasil

Pages: 510–519

Resumo: Internet da Coisas (IoT) é um termo que diz respeito ao uso de diversos dispositivos, sensores e atuadores dotados de tecnologia embarcada e interconectados entre si, que tem experimentado um aumento de uso em praticamente todas as áreas de atuação. Simultaneamente, existe um aumento na necessidade de ensinar conceitos de IoT em cursos de formação profissional na área de Computação e afins. O presente trabalho introduz uma plataforma de hardware de baixo custo, chamada NodePHS, desenvolvida para o ensino de conceitos relacionados à IoT, e descreve seus componentes e como os mesmos são integrados, além das possibilidades de aplicação e resultados obtidos no cenário acadêmico.

Palavras-chave: IoT, Ferramenta Educacional, Arduino.

Low-cost hardware platform for teaching IoT concepts

Abstract: Internet of Things (IoT) is a term that refers to the use of various devices, sensors and actuators equipped with embedded technology and interconnected, which has experienced an increase in use in almost all areas. At the same time, there is an increasing need to teach IoT concepts in vocational training courses in Computing and related areas. This paper introduces a low-cost hardware platform called NodePHS, developed for teaching IoT-related concepts, and describes its components and how they are integrated, as well as application possibilities and results obtained in the academic setting.

Keywords: IoT; Educational Tool; Arduino

1. Introdução

Ultimamente, a sociedade tem testemunhado mudanças bastante dramáticas. O aspecto aparentemente imutável da Lei de Moore, associado ao processamento com custo próximo a zero, comunicação e sistemas em rede têm possibilitado o advento de um fenômeno conhecido como Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), uma

infraestrutura de milhões de dispositivos conectados que permeia praticamente o mundo inteiro (Kortuem, Bandara, Smith, Richards & Petre, 2013).

Como consequência, essas criam uma necessidade de educar cidadãos e profissionais capazes de entender tanto as tecnologias nas quais se baseiam a IoT, como os impactos sociais advindos da sua ampla adoção, uma vez que alteram as expectativas das pessoas em relação à tecnologia, permitindo que cidadãos assumam uma postura de produtores, em vez de meros consumidores.

A aplicação da IoT em um cenário urbano tem forte interesse, pois responde à pressão aos governos para adotarem soluções de ICT (*Information and Communications technology, or Technologies*) na gestão de assuntos públicos, chegando ao conceito de *Smart Cities* (Belavista, 2013) (Schaffers H., Komninou N., Pallot M., Trousse B., Nilsson M. & Oliveira A., 2011). Não apenas no cenário urbano mas também no cenário acadêmico, a IoT é alvo de muitas pesquisas, como ilustra a Figura 1.

Nesse sentido, é preciso garantir que os futuros profissionais da área sejam capazes de projetar e construir sistemas tecnológicos que reflitam as expectativas de abertura e participação trazidas pela IoT. Para a Ciência da Computação, o desafio maior reside em desenvolver maneiras de educação escaláveis, capazes de acomodar diversos alunos, que sejam atrativos para potenciais alunos e que entreguem um currículo inovador que represente adequadamente as mudanças na tecnologia.

O presente trabalho apresenta uma plataforma de hardware para ensino de conceitos de IoT, a NodePHS, que tem por objetivo, além do baixo custo, o uso prático no ensino em diversos temas relacionados à IoT e a aplicação em projetos de diferentes contextos, facilitando a prototipagem.

Este trabalho é organizado como se segue. A Seção 2 discute trabalhos relacionados ao ensino de IoT. A seção 3 apresenta a plataforma de hardware proposta, bem como seus detalhes de implementação, características e custo. Na seção 4 discutimos possíveis aplicações para o uso do NodePHS. Na seção 5 apresentamos os casos de uso do NodePHS no cenário acadêmico. Já a seção 6 os resultados obtidos com o uso da plataforma. Por fim a seção 7 conclui este trabalho.

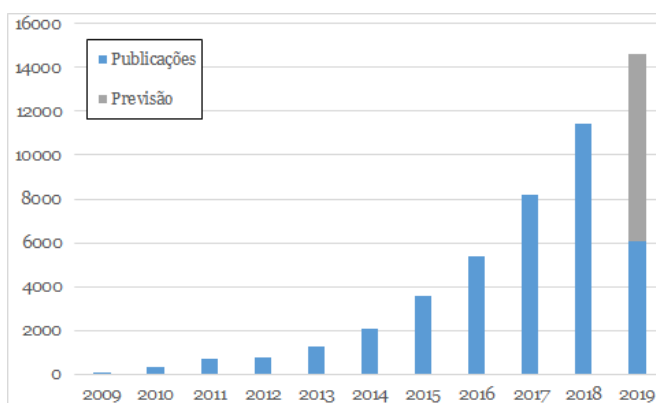


Figura 1 – Publicações por ano Relacionadas à IoT, Base de dados IEEEExplore. Dados de 2019 referentes ao período de Janeiro à Agosto

2. Trabalhos Relacionados

Devido à sua contemporaneidade e à falta de uma definição ampla, suportada por todos, a literatura em melhores práticas para o ensino de IoT começou a ser consolidada apenas recentemente (Lechelt, Rogers, Marquardt & Shum, 2016). Nesse sentido, esforços têm sido feitos para tornar explícitos os conceitos nos quais a IoT se baseia (Ali, 2015), bem como em cursos em nível universitário voltados para quantidades massivas de alunos (Kortuem, Bandara, Smith, Richards & Petre, 2013).

Essa seção apresenta alguns projetos voltados ao ensino de IoT tanto para pessoas sem conhecimento prévio, quanto para alunos em cursos de graduação. Um conjunto de diretrizes para a construção de cursos dessa natureza também é apresentado.

Preocupados com o fato de que diversos conceitos relacionados à IoT são bastante abstratos e tecnicamente avançados, a pesquisa de Zuzanna Lechelt e seus colegas, visa investigar estratégias para diminuir o nível de conhecimento prévio necessário para iniciar o aprendizado e a exploração de tecnologias IoT, sobretudo em jovens e crianças (Lechelt, Rogers, Marquardt & Shum, 2016).

Nesse projeto, computação tangível é usada para explorar e instanciar conceitos de IoT em crianças sem que seja necessário conhecer protocolos de programação e comunicação. Essa abordagem é apoiada em teorias educacionais de construtivismo e por pesquisas que indicam que interfaces tangíveis podem auxiliar no aprendizado de conceitos abstratos (Lechelt, Rogers, Marquardt & Shum, 2016). Um kit de ferramentas formado por vários cubos interativos de sensores e atuadores conectados via Bluetooth é usado em atividades para ensinar interdependência, feedback, loops e comportamentos emergentes em sistemas. O objetivo é despertar a curiosidade para que crianças experimentem e não se sintam intimidadas, além de fornecer uma fundamentação para que aprendam conceitos mais complexos.

Um outro trabalho apresenta o projeto de um módulo de um curso online no qual alunos novatos experimentam e aprendem tecnologias IoT no contexto da Open University - uma instituição que oferece cursos online para público massivo (Kortuem, Bandara, Smith, Richards & Petre, 2013). Nesse projeto, as tecnologias IoT constituem o núcleo do currículo do primeiro ano do curso. A intenção é formar alunos engajados a atender as demandas da sociedade desde o início da sua formação.

Evidentemente, um curso dessa natureza requer uma infraestrutura apropriada. O projeto da Open University utilizou um sensor baseado no Arduino projetado especificamente para isso, chamado SenseBoard e uma IDE para programação utilizando blocos baseada no Scratch (MIT), conhecida como Sense (Kortuem et. al., 2013)..

Visando elencar os pré-requisitos, tópicos abordados e conteúdo, uma série de pré-requisitos e diretrizes para a implementação de cursos de IoT em cursos de graduação, baseadas na experiência dos autores ao longo de alguns semestres que oferecem uma disciplina de IoT em cursos de graduação, é apresentada em (Khanafer & El-Abd, 2019). Esse trabalho destaca a necessidade de ferramentas, equipamento e frameworks de desenvolvimento, de forma a possibilitar que o curso tenha um caráter prático (*hands-on*). Segundo os autores, um projeto prático deveria representar entre 40% e 50% do curso em si (Khanafer & El-Abd, 2019).

3. Plataforma de hardware proposta

A plataforma NodePHS foi idealizada a partir da experiência do ensino de IoT nos cursos de Ciência da Computação e Engenharia Eletrônica em uma universidade pública brasileira. Com a experiência adquirida durante a orientação de projetos em que os alunos apresentavam soluções usando IoT, identificou-se uma dificuldade na escolha da arquitetura para atender as características de cada projeto. O laboratório da universidade não tinha à disposição algumas arquiteturas requeridas e vários projetos tornavam-se inexecutáveis devido a falta de recurso financeiro. Esses projetos ou eram refatorados para usar as arquiteturas disponíveis ou eram descartados.

A partir dessa perspectiva, este projeto foi concebido para oferecer uma plataforma flexível capaz de ser aplicado a diferentes cenários da IoT com custo acessível aos estudantes e às universidades públicas brasileiras. Três características nortearam a concepção e desenvolvimento da arquitetura: (a) flexibilidade requerida por soluções no contexto da IoT, (b) suporte a diferentes protocolos de comunicação e (c) custo acessível à realidade dos estudantes. Todos os componentes da arquitetura foram escolhidos com base nesses requisitos. A Figura 2 ilustra o esquemático da plataforma NodePHS. Os elementos que compõem essa plataforma são:

1. Módulo de Rádio nRF24;
2. Arduino Nano;
3. Regulador de tensão 3,3v;
4. Espaço para prototipagem rápida.

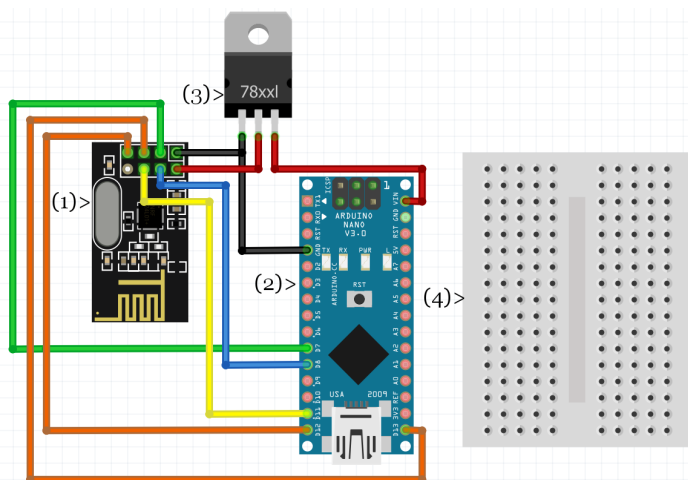


Figura 2 – Esquemático da plataforma NodePHS.

O módulo de rádio nRF24l01+ foi selecionado em virtude de seu baixo custo, flexibilidade e suporte a diversos protocolos. Este módulo opera na frequência de 2.4GHz na banda ISM, utiliza modulação GFSK e possui taxas de transmissão de 250Kbps, 1 Mbps e

2Mbps. Seu controle é feito por SPI (REF datasheet nrf24). Uma outra vantagem deste módulo reside no fato de que ele não implementa nenhum protocolo de camadas de enlace e superiores, o que dá liberdade para o desenvolvimento e implementação de técnicas de acesso ao meio e roteamento.

Para o controle deste módulo, foi escolhida a plataforma Arduino Nano. Essa escolha é devida ao fato de que esta plataforma possui comunicação SPI (para se comunicar com o módulo de rádio), é bem conhecida no meio acadêmico e tem resultados positivos no ensino de sistemas microcontrolados. O Arduino Nano possui comunicação serial, entradas e saídas digitais, entradas analógicas e saídas com modulação por largura de pulso. Essas características permitem a integração com a maioria dos sensores e atuadores disponíveis no mercado.

Uma vantagem adicional é que o Arduino possui uma IDE de código aberto, além de uma grande comunidade de desenvolvimento que disponibiliza diversas bibliotecas para uso nos mais diferentes projetos.

Uma placa¹ foi desenvolvida para integrar esses componentes (o módulo de rádio e o Arduino). Esta placa permite conectar, com facilidade, sensores e atuadores, por isso, a plataforma NodePHS dispõe de uma pequena protoboard posicionada próximo ao Arduino Nano.

Como o módulo de rádio requer tensão de 3,3v, um regulador de tensão foi adicionado para suprir essa necessidade. Convém destacar que o Arduino Nano possui uma saída com esta tensão, porém a corrente não é suficiente para alimentar o módulo de rádio.

O projeto² da placa (Figura 3) tem dimensões 50mm x 47mm, é de hardware livre e está disponível para utilização por qualquer que deseje fazer uso em aplicações de IoT.

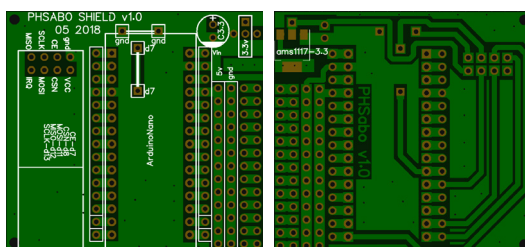


Figura 3 – Placa PCB desenvolvida.

Para envio das informações obtidas pela plataforma para nuvem, é possível utilizar qualquer dispositivo que possua comunicação SPI para integrar o módulo de rádio e também possua uma interface Ethernet ou Wi Fi para se comunicar com as aplicações IoT na nuvem. Na Figura 4, é apresentado um exemplo de integração com um dispositivo Raspberry Pi 3, que possui fácil integração com o módulo de rádio.

¹ <https://github.com/phsabo/NodePHS>

² <https://easyeda.com/phsabo/nano-nrf24>

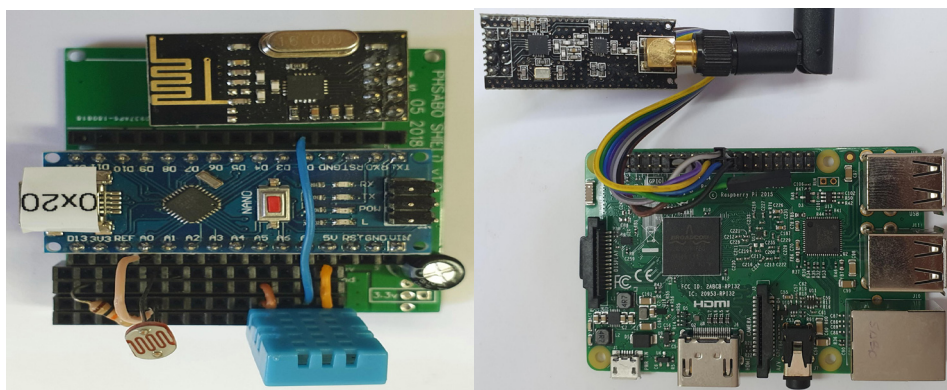


Figura 4 – À direita, a placa NodePHS com os componentes e sensores utilizados; à esquerda, gateway configurado em uma placa Raspberry Pi.

3.1. Características

Embora existam outras plataformas de desenvolvimento disponíveis comercialmente, seu custo e dificuldade de importação para o mercado brasileiro, aliados às barreiras burocráticas para aquisição de equipamentos por instituições públicas (como é o caso da Instituição na qual a NodePHS foi desenvolvida) tornam-se fatores que inibem a sua ampla utilização em ambiente acadêmico.

Em contrapartida, esses mesmos fatores motivaram o desenvolvimento da plataforma NodePHS. Nesse sentido, o foco principal foi prover uma plataforma flexível e manter seu custo acessível, bem como utilizar equipamentos e componentes encontrados facilmente no mercado. A três características que nortearam o desenvolvimento da arquitetura foram: (a) flexibilidade requerida por soluções no contexto da IoT, (b) suporte a diferentes protocolos de comunicação e (c) custo acessível à realidade dos estudantes.

No aspecto de flexibilidade, as características do Arduino Nano potencializam a versatilidade da NodePHS em soluções no contexto da IoT. A comunicação serial, as entradas e saídas digitais, entradas analógicas e saídas com modulação por largura de pulso proporcionam a integração com a maioria dos sensores e atuadores disponíveis no mercado. A capacidade de processamento aliada a uma comunidade de desenvolvimento atuante, ampliam as possibilidades e estimulam a capacidade de inovação dos alunos.

O quesito suporte a diferentes protocolos foi determinante para a escolha módulo de rádio nRF24l01+. Com este módulo, a NodePHS permite desde a implementação de protocolos específicos (a partir da camada de enlace) com técnicas de acesso ao meio e roteamento até a utilização de protocolos conhecidos de IoT, como o MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Esse suporte credencia a NodePHS em aplicações que necessitam de controle específico nas camadas de mais baixo nível, como a camada de Enlace. No ambiente acadêmico, essa característica proporciona uma diversidade de cenários voltados para o aprendizado dos alunos. Um exemplo desses possíveis cenários é descrito na Seção 5.

O custo médio para montagem do NodePHS no Brasil foi de U\$14.00, para o gateway com a Raspberry PI U\$55.00. Na Tabela 1 comparamos o preço de aquisição de outras plataformas de hardware IoT no Brasil.

Plataforma	Preço Médio
<i>LoraWan</i>	Nó com Arduino U\$32.50 Gateway com Raspberry PI U\$675.00
<i>ZigBee</i>	Nó com Arduino U\$32.50 Gateway com Raspberry PI U\$78.00
<i>Node MCU</i>	Nó U\$12.50
<i>Intel Edison</i>	Nó U\$87.50

Tabela 1 – Preços médios de plataformas de hardware IoT, no Brasil

O custo da plataforma proposta no Brasil é em média 58% menor para o nó e para o gateway 65% menor em média.

Um ponto importante é que todas as plataformas citadas já contém protocolos da camada de enlace implementados, podendo apenas alterar parâmetros das camadas de rede e aplicação, o que impossibilita a utilização destas para ensino e implementação de protocolos de acesso ao meio.

4. Possibilidades de utilização no cenário acadêmico

A NodePHS foi pensada como uma plataforma de baixo custo para se adequar a realidade das universidades públicas brasileiras e com flexibilidade para oferecer diferentes oportunidades de ensino, pesquisa e extensão para professores e alunos.

Dentre as oportunidades de ensino, destaca-se a utilização da NodePHS para o ensino de:

1. Protocolos de enlace de dados (ALOHA, CSMA, MACAW, *polling*);
2. Protocolos de comunicação de dados (MQTT, MQTT-SN);
3. Redes de sensores;
4. Fundamentos de IoT;
5. Elementos de um sistema de IoT;
6. Conectividade em IoT;
7. Computação em nuvem;
8. Melhor compreensão do meio sem fio;
9. Técnicas de Segurança em IoT;
10. Aplicações e estudos de caso.

Considerando as características apresentadas, a NodePHS demonstra um grande potencial para projetos de pesquisa, extensão e trabalhos de conclusão de curso dentro do contexto de IoT e que estejam alinhadas às necessidades reais do mercado.

5. Caso de uso

Um conjunto de 46 nós NodePHS foi utilizado por alunos do curso de Ciência da Computação, nas disciplinas de XX e YY (Figura 5).

Nestas disciplinas os alunos implementaram técnicas de acesso e disputa pelo meio como TDMA, ALOHA, CSMA, CSMA/CA, MACAW, *polling* e passagem de token. Com isso tiveram ciência de como funciona o uso do meio sem fio para comunicação e como deve ser organizado, a fim de se comunicar de forma eficiente e ao mesmo tempo não inviabilizar outras comunicações.

O mérito dessa experiência é evidenciado pelos relatos de alunos, que declaram que a implementação prática de protocolos possibilitou a compreensão de seu funcionamento em meio sem fio.

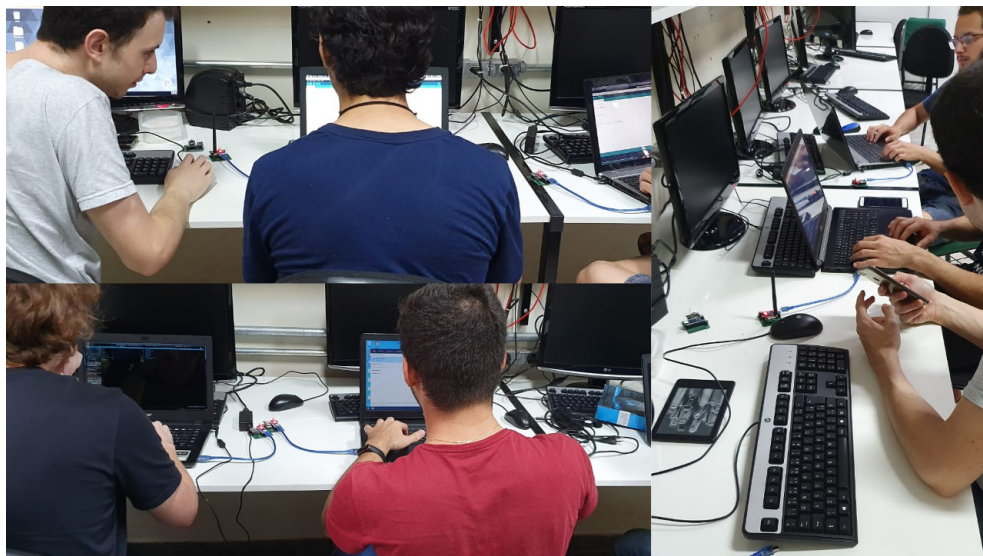


Figura 5 – Alunos do curso de Bacharelado em Ciência da Computação utilizando os nós NodePHS durante a aula.¶

Além disso, a plataforma também tem sido utilizada em projetos de IoT, nos quais os alunos utilizam o hardware para enviar dados de coletados de sensores para plataformas de IoT na nuvem. Dados de temperatura e umidade do ambiente são enviados para uma Raspberry Pi que, por sua vez, envia as informações recebidas para a plataforma livre Cayenne³, utilizando protocolos do tipo MQTT. Esta vplataforma disponibiliza o acesso às informações dos sensores por meio web (Figura 6 e 7) e aplicativos para smartphones.

³ <https://cayenne.mydevices.com/>

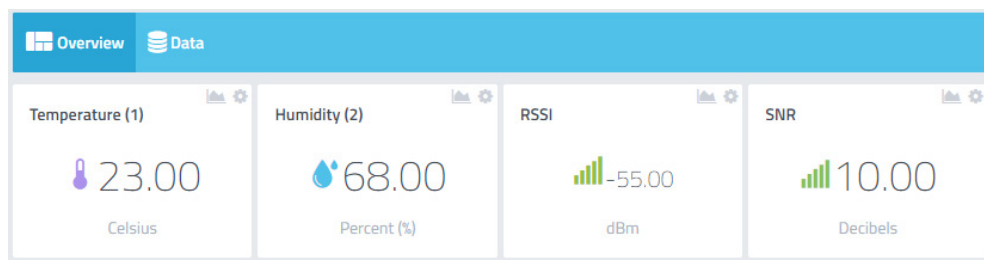


Figura 6 – Informações em tempo real fornecidos pela plataforma Cayenne de uma NodePHS.

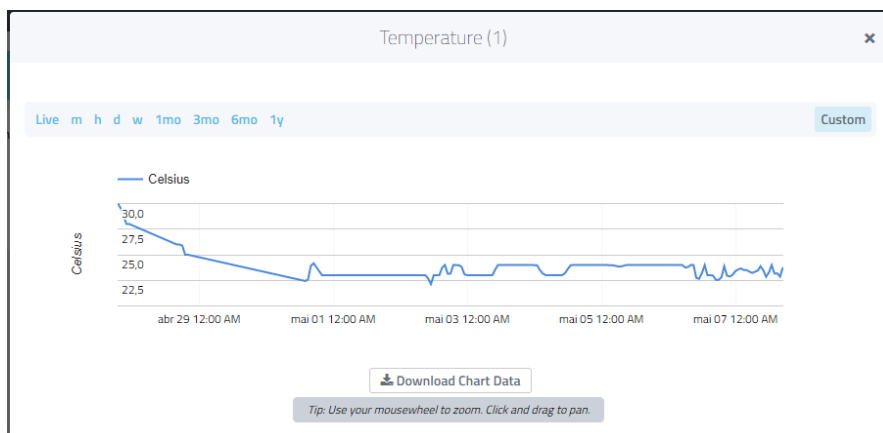


Figura 7 – Gráfico de temperatura gerado pela plataforma Cayenne com os dados coletados da NodePHS¶

Por fim, este hardware está sendo utilizado em um projeto denominado Laboratório Inteligente. Esta placa coleta dados de temperatura, luminosidade e presença. A partir destes dados coletados, em conjunto com o cronograma de aulas do laboratório, são tomadas decisões de controle da iluminação, controle dos equipamentos de ar condicionado e projeção, e a disponibilização de energia para os computadores. Junto a este monitoramento é feita a leitura do consumo de energia elétrica do laboratório, a fim de obter uma maior economia de energia.

6. Resultados

O uso da plataforma NodePHS teve como principal resultado evidente a melhoria nas taxas de aprovação nas disciplinas nas quais ela foi adotada. Essa melhoria foi, em média, de 46%. Além disso, os alunos relatam que a ênfase em atividades práticas influencia positivamente no aprendizado de conceitos de IoT e redes de sensores, com melhor compreensão dos protocolos e possibilidades de aplicação.

Resultados indiretos foram percebidos também em outras disciplinas, que propõem o desenvolvimento de aplicações que implementam requisições à rede sem fio. Nesse caso, é

razoável assumir que existe uma correlação entre a melhoria na compreensão de conceitos, durante a disciplina de IoT, e a aplicação desses mesmos conceitos nessas disciplinas.

7. Conclusões

O desenvolvimento da plataforma de hardware apresentada nesse trabalho foi motivado pela carência de ferramentas na área de ensino de conceitos de IoT e afins, sobretudo que suportem flexibilidade de uso em meio acadêmico.

O dever de fornecer um ensino de vanguarda, associado às exigências impostas pela evolução científica, aliada ao difícil acesso a tecnologias e à limitação de recursos foram os grandes fatores motivadores para o desenvolvimento da plataforma NodePHS, que foi a alternativa encontrada para suprir esta carência, aplicada tanto no ensino quanto em projetos, com ótimos resultados.

As 46 plataformas NodePHS desenvolvidas são utilizadas em disciplinas, projetos de pesquisa e projetos de extensão relacionados à área de IoT. Como trabalhos futuros, destacamos a necessidade de melhor avaliar a viabilidade de uso dessa plataforma em outras disciplinas, e a elaboração de práticas didáticas voltadas para o uso em sala de aula, a fim de obter melhores resultados de desempenho didático.

Adicionalmente, é necessário estender a utilização da plataforma por mais semestres, a fim de obter dados quantitativos mais significativos a respeito de sua aplicação, e validar sua efetividade por meio de métodos estatísticos pertinentes.

Referências

- Bellavista, P., Cardone, G., Corradi, A., & Foschini, L. (2013). Convergence of MANET and WSN in IoT Urban Scenarios. *2013 IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3558-3567. doi: 10.1109/JSEN.2013.2272099.
- Schaffers H., Komninos N., Pallot M., Trousse B., Nilsson M. & Oliveira A. (2011) Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation. In: Domingue J. et al. (Eds.). *The Future Internet*. FIA 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6656. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ali, F. (2015). Teaching The Internet of Things Concepts. *Proceedings Of The WESE'15: Workshop On Embedded And Cyber-Physical Systems Education - WESE'15*. doi: 10.1145/2832920.2832930
- Khanafer, M., & El-Abd, M. (2019). Guidelines for Teaching an Introductory Course on the Internet of Things. *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*.
- Kortuem, G., Bandara, A., Smith, N., Richards, M., & Petre, M. (2013). Educating the Internet-of-Things Generation. *Computer*, 46(2), 53-61. doi: 10.1109/mc.2012.390
- Lechelt, Z., Rogers, Y., Marquardt, N., & Shum, V. (2016). ConnectUs. *Proceedings Of The 2016 CHI Conference Extended Abstracts On Human Factors In Computing Systems - CHI EA '16*.

Simulador de Subcamada MAC para protocolos do tipo *polling*

Paulo Henrique Sabo¹, Paulo Cardieri²

phsabo@utfpr.edu.br, cardieri@decom.fee.unicamp.br.¶

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão, Via Rosalina Maria dos Santos 1233, CEP 87301-899 Campo Mourão - PR - Brasil¶

² Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, CEP 13083-970, Campinas - SP - Brasil¶

Pages: 520–531

Resumo: Em vista do alto uso atual de redes sem fio para troca de informações, é essencial o estudo de diferentes técnicas para otimizar e organizar esse alto fluxo de dados em uma rede. Os protocolos baseados em pesquisas são atraentes devido à falta de contenção do meio sem fio, resultando em nenhuma colisão de pacotes. No entanto, esses protocolos são atualmente pouco estudados e aplicados, resultando em poucas ferramentas de simulação. Este artigo descreve a implementação de um simulador para protocolos do tipo *polling*.

Palavras-chave: Simulador; polling; Controle de Acesso ao Meio (MAC); Teoria das filas.

Iberian Journal of Information Systems and Technologies: Format guidelines to write articles

Abstract: In view of the current high use of wireless networks for information exchange, the study of different techniques to optimize and organize this high flow of data in a network is essential. Polling-based protocols are attractive because of the lack of contention of the wireless medium results in no packet collision. However, these protocols are currently poorly studied and applied, resulting in few simulation tools. This article describes the implementation of a simulator for polling-type protocols.

Keywords: Simulator; Polling; Medium Access Control; Queuing theory.

1. Introdução

As novas tecnologias de comunicação estão convergindo para um cenário em que cada vez mais dispositivos de comunicação sem fio capturam dados do ambiente, como temperatura, umidade, presença, entre outros. Diante deste cenário, onde existem vários nós coletando e enviando dados, como numa Internet das Coisas (IoT) com centenas de

smart things, surgem alguns problemas e desafios para eficiência deste alto fluxo de informações, dentre eles a otimização do fluxo de informações (Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G., 2010), (Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S., 2015).

Em uma rede de comunicação típica, o meio sem fio deve ser compartilhado por vários dispositivos da rede, de forma que um mecanismo é necessário para controlar o acesso a esse meio. Os mecanismos de controle de acesso ao meio (MAC) são responsáveis por este compartilhamento, evitando a colisão de pacotes e buscando a maximização da eficiência no uso do meio. Neste sentido, o protocolo de controle de acesso empregado deve atender as necessidades específicas da rede e da aplicação em mente, de forma a garantir o uso eficiente dos recursos disponíveis e o atendimento dos requisitos de qualidade da aplicação.

O desenvolvimento e a avaliação de mecanismos MAC normalmente envolve o uso de simuladores de rede, devido à complexidade de tais mecanismos e do ambiente de operação do mesmo, o que geralmente impede uma formulação analítica. De fato, existem diversos simuladores de rede (Sundani, H., Li, H., Devabhaktuni, V., Alam, M. & Bhattacharya, P., 2011) que implementam protocolos MAC, porém nos mais utilizados são implementados apenas protocolos baseados em disputa (*contention-based protocols*). Protocolos livres de disputa (*contention-free protocols*), como aqueles baseados em *polling*, são pouco discutidos, portanto, não possuem implementações nativas em simuladores mais populares.

Protocolos do tipo *polling* são protocolos MAC livre de colisões e com baixo atraso na fila, e, portanto, tem recebido grande atenção nos últimos anos como uma alternativa de protocolo para diversos cenários de IoT.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um simulador de protocolos do tipo *polling*. Nele é possível a implementação de protocolos já existentes e novos. O simulador apresentado aqui é capaz de estimar métricas de desempenho típicas de uma rede sem fio, como o tempo de espera de um pacote na fila, a quantidade total de pacotes enviados e perdidos durante um período de comunicação e o número de *polls* enviados durante. Por fim este simulador tem um aspecto educacional, já que facilita o aprendizado de protocolos existentes e o desenvolvimento de novos.

Este artigo está dividido da seguinte forma. A Seção 2 explica protocolos do tipo *polling*, a Seção 3 descreve o modelo analítico utilizado para a validação do simulador, a Seção 4 explica a implementação do simulador, a Seção 5 apresenta os resultados e os compara com o modelo analítico por fim na Seção 6 são discutidas as conclusões deste artigo.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Protocolo de *polling*

O protocolo de *polling* é um tipo de protocolo de acesso ao meio livre de disputa. Segundo esse protocolo, os dispositivos pertencentes a rede, recebem um convite para transmitir através de uma consulta do dispositivo controlador, que segue uma regra de atendimento. Se o dispositivo consultado tiver algo para transmitir, ele inicia a sua transmissão. Caso contrário, uma resposta negativa (ou ausência de resposta) é recebida

pelo controlador, que então consulta o próximo dispositivo em sequência. Esta troca de mensagens garante que apenas um dispositivo acesse o meio, tornando o protocolo livre de colisões. Uma representação da operação de uma rede operando com protocolo do tipo *polling* e mostrada na Figura 1, com cada dispositivo representado por meio de uma fila, que é conectada em ordem cíclica ao único servidor.

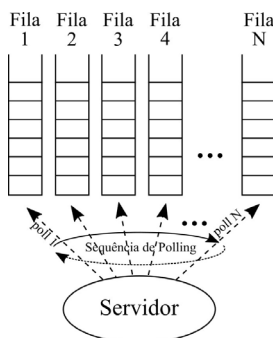


Figura 1 – Servidor enviando *polls* aos dispositivos.

Protocolos baseados em *polling* requerem a troca constante de mensagens de controle entre o dispositivo controlador (servidor ou estação base) e os dispositivos conectados. Segundo Tobagi (Tobagi, F., 1980), esse tipo de protocolo é eficiente somente se:

- O atraso de propagação de ida e volta dos pacotes for pequeno;
- A proporção de *overhead* nos pacotes de mensagens for baixa;
- Cada dispositivo não gerar muitos pacotes seguidamente;
- A população de dispositivos conectados não for grande.

Protocolos baseados em *polling* seguem uma regra de atendimento, que dita qual a ordem de envio dos *polls*, e uma disciplina de serviço, que determina como será o atendimento de cada dispositivo. Serão discutidos a seguir as regras de atendimento e disciplinas de serviço mais comumente utilizadas em protocolos do tipo *polling*.

1. Regras de atendimento: Uma regra de atendimento, ou ordem do *polling*, orienta o controlador sobre como deve ser a sequência de acesso aos dispositivos da rede. Esta ordem, segundo Vishnevskii e Semenova (Vishnevskii, V. M. & Semenova, O. V., 2006), pode ser:
 - Cíclica: o controlador consulta os dispositivos obedecendo um ciclo ($n_0, n_1, n_2, \dots, n_N, n_0, n_1, n_2, \dots, n_N, \dots$).
 - Aleatória ou randômica: o controlador escolhe o próximo dispositivo a ser consultado aleatoriamente.
 - Elevador: O controlador segue uma ordem para a consulta dos dispositivos e depois de todos consultados, segue a ordem contrária a que foi utilizada ($n_0, n_1, n_2, \dots, n_N, n_{N-1}, n_{N-2}, \dots, n_1, n_0, \dots$).
 - Prioridade: o atendimento a cada fila segue uma prioridade pré-definida por alguma função ou parâmetro da rede. Esta regra pode resultar em mais

- do que uma consulta por ciclo a um determinado dispositivo, ou um tempo maior para o atendimento dos pacotes na fila de determinado dispositivo.
2. **Disciplinas de Serviço:** A disciplina de serviço determina como deve ser o atendimento aos dispositivos. Esta disciplina difere com o tamanho da fila de cada dispositivo

Em filas de uma única posição (*single-buffer*), o controlador atende uma vez o dispositivo e consulta o próximo. Em filas com mais de uma posição (*infinite-buffer*), são utilizadas disciplinas de atendimento. As disciplinas mais comumente utilizadas são (Takagi, H., 1988), (Vishnevskii, V. M. & Semenova, O. V., 2006):

- **Exaustiva:** o controlador permanece atendendo ao dispositivo enquanto houver pacotes na fila.
- **Gated:** o controlador atende aos dispositivos presentes na rede até o momento. Dispositivos novos que ingressarem na rede durante o atendimento serão atendidos no próximo ciclo.
- **Limitado:** O controlador atende a um número máximo de dispositivos, independentemente da quantidade de dispositivos na rede.

3. Modelo Analítico

Como já citado, uma representação de uma rede empregando protocolos do tipo *polling* e aquela composta de um sistema de múltiplas filas acessadas em ordem cíclica por um único controlador. O objetivo usual na análise de modelos de *polling* é encontrar o tempo de espera da mensagem, definido como o tempo desde a chegada de uma mensagem no buffer do modulo de rádio de um dispositivo até o início de sua transmissão. O tempo médio de resposta é uma das medidas de desempenho mais importante em redes de comunicação de pacotes (Kleinrock, L. & Tobagi, F., 1975), sendo definido como a soma do tempo médio de espera e do tempo médio de atendimento.

Já que o objetivo é a análise de protocolos de *polling* em um cenário de IoT, em situações em que os nós fazem o monitoramento periódico de informações como localização, temperatura, umidade, entre outros. Nesta forma, somente o pacote mais recente de um dispositivo é atendido, então, caso um novo pacote seja gerado no dispositivo quando já houver um pacote na fila daquele dispositivo aguardando transmissão, esse pacote na fila é descartado, dando lugar ao pacote que acabou de ser gerado. Portanto, os dispositivos terão, no máximo, uma mensagem pendente em suas filas e as filas dos dispositivos precisarão ter apenas uma posição para pacotes aguardando transmissão. Esse tipo de protocolo *polling* é adequado pois a rede vai possuir um nó central para coleta de dados. Este nó pode atuar como coordenador da rede, gerenciando e organizando as transmissões, enviando os *polls* para cada *smart thing* transmitir.

3.1. Sistemas de Buffer Único

O modelo de buffer único, mostrado por Takagi (Takagi, H., 1988), corresponde à base de funcionamento do protocolo estudado aqui. Um modelo contínuo no tempo em que cada fila tem apenas uma posição, ou seja, pode ter no máximo uma mensagem pendente.

E assumido que a chegada dos pacotes segue um processo Poissoniano, isto é, os intervalos entre chegadas consecutivas de pacotes seguem uma distribuição exponencial. Consideraremos aqui uma rede com N filas (i.e., dispositivos). A taxa de chegada de pacotes no sistema e o tempo médio de serviço (i.e., tempo médio que o servidor gasta para servir a fila) da i -ésima fila são denotados, respectivamente, por λ_i e b_i . Portanto, a utilização do servidor devido à i -ésima fila vale $\rho_i = \lambda_i b_i$, e a utilização total do servidor é

$$\rho_T = \sum_{i=1}^N \rho_i \quad (1)$$

Após terminar o serviço em uma fila, o servidor acessa a próxima fila. O tempo médio necessário para o servidor trocar da fila i para a próxima fila é denotada por r_i . O tempo total necessário para que o servidor acesse todas as filas sem realizar nenhum serviço e denotado por R , dado por

$$R = \sum_{i=1}^N r_i \quad (2)$$

A média de tempo dos ciclos, tempo necessário para que o servidor acesse todas as filas realizando o serviço quando necessário é denotado por $E[C]$ e a média de espera das mensagens na fila é denotado por $E[W]$.

Para sistemas simétricos, isto é, quando todas as filas são estatisticamente idênticas, temos $\lambda_i = \lambda$, $b_i = b$ e $r_i = r$, para $i = 1, \dots, N$. Assim, temos $R = Nr$, $\rho = \lambda b$ e $\rho_T = N\rho$.

As equações $E[C]$ e $E[W]$ para *buffer* único podem ser definidos, segundo Takagi (Takagi, H., 1988), como

$$E[C] = \frac{R}{1 - \rho_T}, \quad (3)$$

$$E[W] = \frac{R + \rho_T b}{2(1 - \rho_T)} \quad (4)$$

4. Simulador

O simulador¹, desenvolvido em linguagem Python², implementa um sistema de *buffer* único com protocolo *polling* com filas estatisticamente iguais, e intervalos fixos entre a produção de cada pacote em cada fila.

Para cada nó da rede é definido um intervalo de geração de pacotes. Os intervalos podem ser constantes ou seguir uma distribuição especificada (p. ex., exponencial, Poisson e normal). Estes intervalos são armazenados em *Intervalos[N]*, em que N é o número de nós no sistema. *IntervalosAcumulados[N]* armazena o próximo momento em que cada nó vai produzir um pacote e colocá-lo na fila, aqui representada pelo vetor *packets[N]*, em que cada posição atua como o *buffer* único de cada nó. Também é definido o tempo total de simulação *ProcessingTime*, em milissegundos.

¹ O código do simulador está disponível em <https://github.com/phsabo/Polling-Simulator>

² <https://www.python.org/>

Duas funções atuam no simulador, *customer* e *server*. A função *customer* (Algoritmo 1) monitora o tempo de simulação, e sempre que *ProcessingTime* for igual a algum valor *i* presente em *IntervalosAcumulados*, então *packets[i]* guardará o tempo de simulação atual (*now*) e *IntervalosAcumulados* é atualizado com o próximo momento de produção de pacotes. Ou seja, sempre que o tempo atual de simulação (*now*) for um múltiplo do intervalo de um nó *i*, o tempo que o pacote entrou na fila é guardado no *buffer* do nó *i*. Se nesta posição já possuir um valor de tempo, isso representa que ainda existe um pacote na fila e o nó ainda não foi atendido, sendo, portando, contabilizado um pacote perdido.

Algoritmo 1 *customer*

```

1.  listNow ← now – InterAcumul
2.  for i ← 0,N do
3.      if listNow[i] ≥ 0 then
4.          if packets[i] = 0 then
5.              packets[i] ← now
6.          else
7.              lostMsgs ← lostMsgs + 1
8.              InterAcumul[i] ← InterAcumul[i]+Intervalos[i]
9.              PacketsProduced ← PacketsProduced + 1

```

A função de *server* (Algoritmo 2) e acessar uma posição *i* em *packets[N]* e contabilizar o tempo de espera na fila. Para acessar uma posição *i* em *packets[N]* a função *nextPoll()* retorna qual fila será acessada.

A função *nextPoll()* e quem define o tipo de protocolo de *polling* utilizado, nesta função são implementadas as diferentes regras de atendimento. Por exemplo, se a regra for cíclica, a função *nextPoll()* irá retornará $(nodePoll + 1) \bmod(N)$.

Se houver um valor maior que zero em *packets[i]*, isso significa que existe um pacote esperando no *buffer*, então a função *server* guarda o tempo de espera, $Delay_{packet}$, que é a diferença entre o tempo atual e o instante em que o pacote entrou no *buffer*, isto é, $now - packets[i]$, em *listDelay*. Uma vez que o servidor acessou a fila, *now* é incrementado com o tempo de acesso à fila (r_i), agora denominado $Time_{queue}$, e tempo de serviço (b_i), agora denominado $Time_{service}$. Se houver um valor igual a zero em *packets[i]*, significa que não há pacote no *buffer*, então *now* é incrementado apenas com o tempo de acesso à fila.

Algoritmo 2 *server*

```

1: nodePoll ← nextPoll(Regra)
2: if nodePoll = -1 then
3:     TPolls ← TPolls + 1
4:     if packets[nodePoll] = 0 then
5:         now ← now + Timeservice + Timequeue
6:         Delaypacket ← now – packets[nodePoll]
7:         listDelay.append(Delaypacket)
8:         PacketsSend ← PacketsSend + 1
9:         packets[nodePoll] = 0

```

```

10:     else
11:          $lostPolls \leftarrow lostPolls + 1$ 
12:          $now \leftarrow now + Time_{queue}$ 
13:     else
14:          $now \leftarrow now + Time_{processPoll}$ 
    
```

O tempo de acesso à fila $Time_{queue}$ e de serviço $Time_{service}$ são calculados seguindo parâmetros da rede fornecidos pelo usuário, velocidade da transmissão ($Air_{DataRate}$) em bits por segundo (bps), $payload$ de pacotes de controle e mensagem ($Len_{MsgCtrl}$ e Len_{Msg}) em bytes, $overhead$ por pacote ($Overhead$) em bytes, como velocidade de comunicação entre o módulo de rádio e o controlador ($SPI_{DataRate}$) em bps, tempo do módulo de rádio para sair do *standby* e ficar ativo ($Start_{StandBy}$), em segundos e tempo médio de processamento das mensagens ($T_{processing}$).

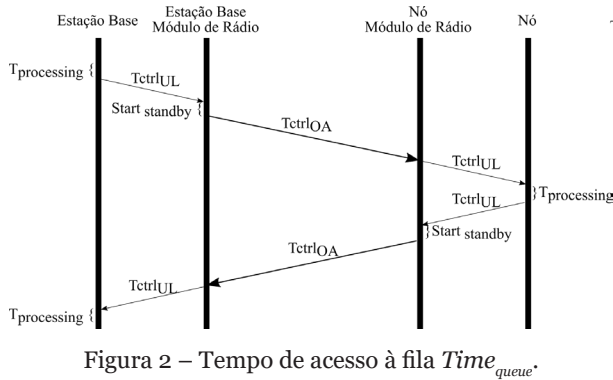


Figura 2 – Tempo de acesso à fila $Time_{queue}$.

Para obter os valores de $Time_{queue}$ e $Time_{service}$ são calculados o tempo da mensagem no ar $Tmsg_{OA}$, o tempo do pacote de controle no ar $Tctrl_{OA}$, o tempo de atualizar a mensagem $Tmsg_{UL}$ e o tempo de atualizar o pacote de controle $Tctrl_{UL}$.

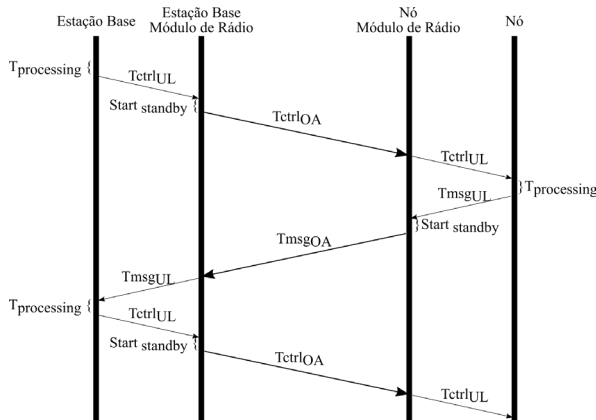


Figura 3 – Tempo de comunicação $Time_{queue} + Time_{service}$.

Durante a troca de pacotes, o tempo de acesso a fila é igual ao tempo de envio do *poll* pela estação base *BS* somado ao tempo de resposta do nó de pelo menos 1 byte (Figura 4), portanto podemos definir $Time_{queue}$ somando os tempos de acordo com a estrutura das Figura 2.

Já o tempo de comunicação quando há pacotes na fila, se dá pelo envio do *poll* pela *BS* somado à resposta da mensagem pelo nó e a confirmação de recebimento enviada pela *BS* (Figura 4). Portanto o tempo de acesso à fila $Time_{queue}$ somado ao tempo de serviço $Time_{service}$ é definido pela soma dos tempos da Figura 3.

Parâmetro	Valor
<i>SPIDataRate</i>	400bps
<i>LenMsgCtrl</i>	3 bytes
<i>LenMsg</i>	32 bytes
<i>Overhead</i>	9 bytes
<i>StartStandBy</i>	130 μ s

Tabela 1 – Parâmetros da simulação

Obtemos o tempo de serviço $Time_{service}$ subtraindo o tempo de acesso a fila do tempo de uma comunicação completa.

AirDataRate	$Time_{Queue}$	$Time_{Service}$
250 kbps	3,15 ms	2,78 ms
1 Mbps	2,17 ms	1,10 ms
2 Mbps	1,99 ms	0,82 ms

Tabela 2 – $Time_{Queue}$ e $Time_{Service}$ calculados

Em casos como filas com prioridades, disciplinas *Gated* e Limitada, ou mesmo a implementação de novas técnicas de *polling*, a função *nextPoll()* pode retornar -1, neste caso a função *server* não acessa naquele momento nenhuma posição *i* em *packets*. Então *now* é incrementado apenas com o tempo gasto para processar um novo *poll*, $Time_{processPoll}$. Isto já está sendo utilizado no desenvolvimento de novas regras de atendimento como predição³ no envio dos *polls* e nos casos em que o servidor não acessa nenhuma fila.

5. Resultados

Esta seção discute os resultados do simulador e os compara com o modelo analítico. Os valores dos parâmetros do sistema estão mostrados na Tabela 1. A regra cíclica foi

³ Protocolo de *polling* em que o servidor envia os *polls* de acordo com o comportamento da rede. Disponível em <https://github.com/phsabo/Predictpolling>

utilizada nas simulações e seus resultados foram comparados com o modelo analítico apresentado.

Os valores usados para $Air_{DataRate}$ foram 250 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps. Para cada $Air_{DataRate}$ foram simulados valores de taxa de chegada iguais a $\lambda_i = 0,5, 1$ e 2 pacotes por segundo.

Para $Air_{DataRate} = 250$ kbps, 1 Mbps e 2 Mbps, o tempo de acesso a cada fila, $Time_{Queue}$, e o tempo de cada serviço, $Time_{Service}$, calculados estão presentes na Tabela 2.

Os resultados para o tempo médio de espera na fila $E[W]$ são mostrados na Figura 4, 5 e 6, para $Air_{DataRate} = 250$ kbps, 1 Mbps e 2 Mbps, respectivamente. Em todos os cenários os resultados simulados são compatíveis com o modelo analítico para $\rho \leq 1$. Isto valida os resultados do simulador.

Em todos os casos o tempo de espera na fila $E[W]$ simulados se aproximam muito dos resultados do modelo analítico. Subtraindo os resultados analíticos dos simulados obtemos uma diferença de tempo média de 1,36 milissegundos.

A porcentagem de pacotes perdidos para $Air_{DataRate} = 250$ kbps, 1 Mbps e 2 Mbps são apresentados na Figura 7, 8 e 9, respectivamente.

Outra métrica importante em sistemas baseados em *polling* é a quantidade de *polls* por segundo (PpS) enviados. A Figura 10 ilustra os resultados da simulação. A partir destes, combinados com o número de nós N e a taxa de chegada dos pacotes na fila λ_i , podemos estimar quantos *polls* em média são enviados por pacote e o tempo de acesso a todas as filas $E[C]$.

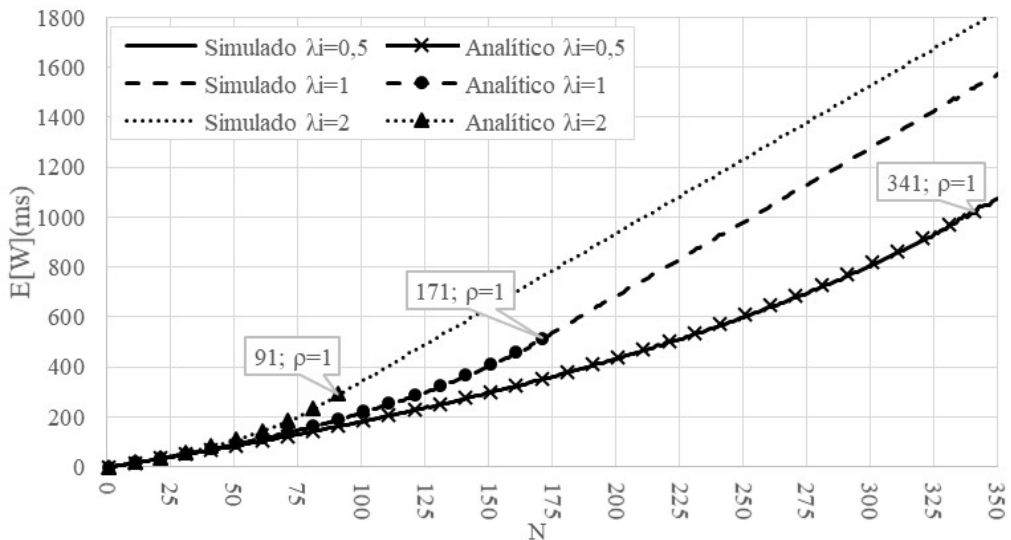


Figura 4 – $E[W]$ simulado e analítico para $Air_{DataRate} = 250$ kbps

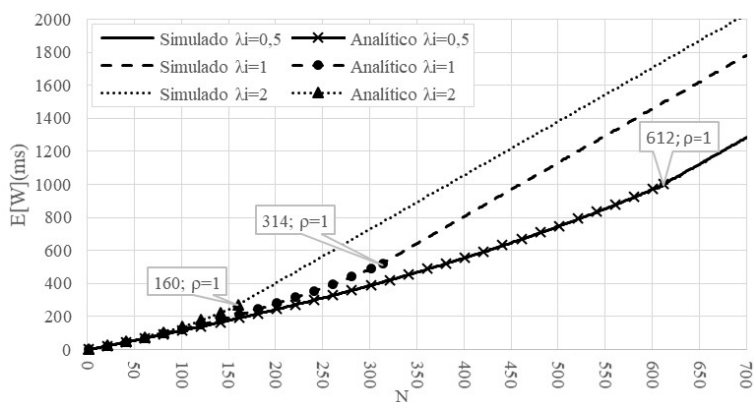


Figura 5 – $E[W]$ simulado e analítico para $Air_{DataRate}=1\text{Mbps}$

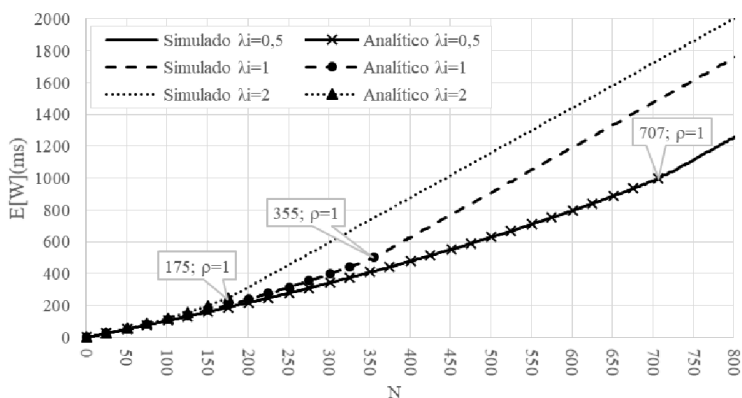


Figura 6 – $E[W]$ simulado e analítico para $Air_{DataRate}=2\text{Mbps}$

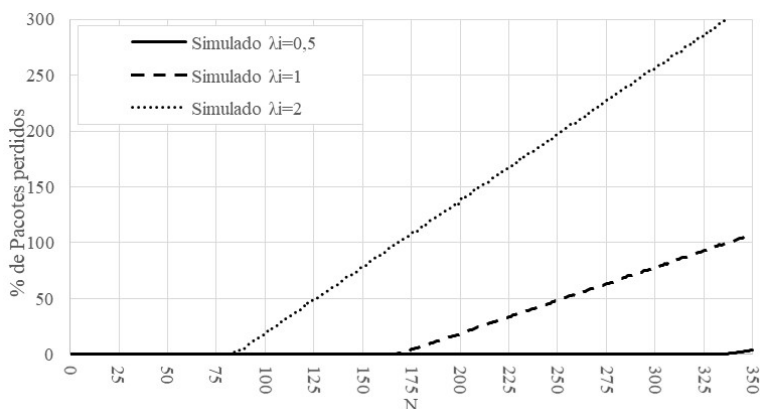


Figura 7 – Porcentagem de pacotes perdidos em relação ao total $Air_{DataRate}=250\text{ kbps}$

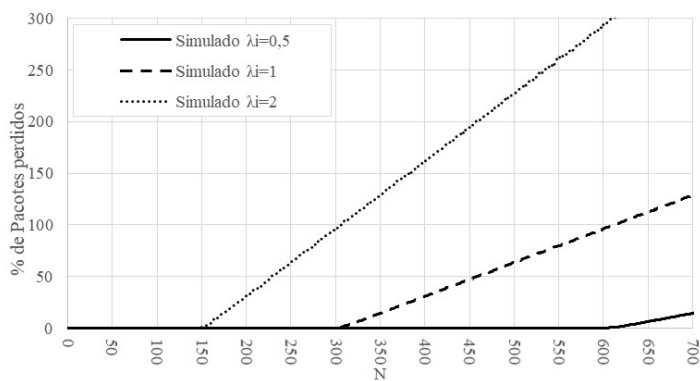


Figura 8 – Porcentagem de pacotes perdidos em relação ao total $Air_{DataRate}=1$ Mbps

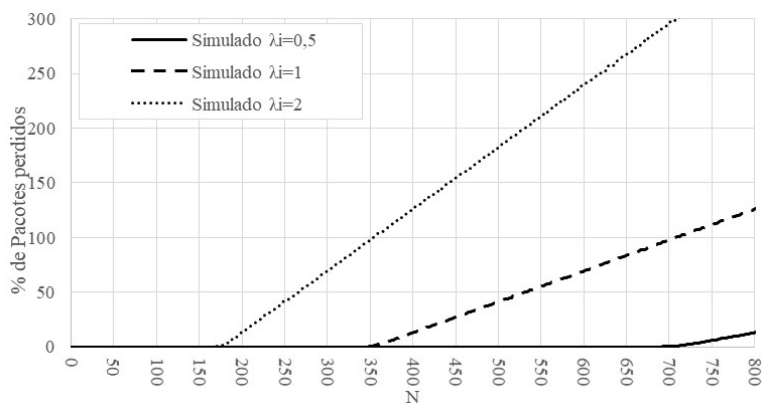


Figura 9 – Porcentagem de pacotes perdidos em relação ao total $Air_{DataRate}=2$ Mbps

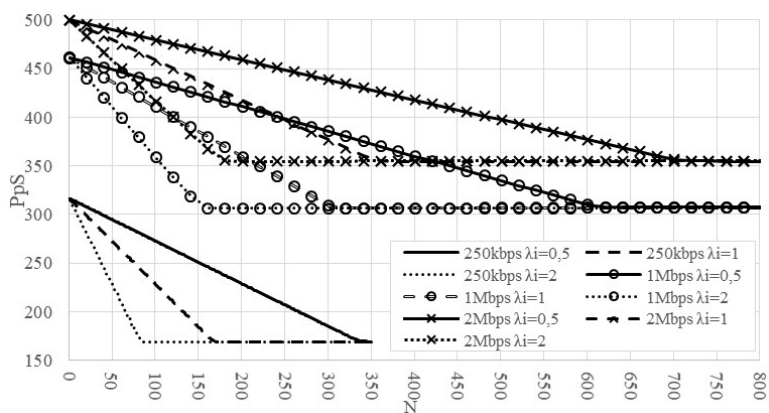


Figura 10 – Quantidade de *polls* enviados por segundo (PpS) durante a simulação.

6. Conclusões

Percebemos aqui o potencial do uso do protocolo de *polling* cíclico para uso em aplicações de IoT, que suporta uma grande capacidade de nós transmitindo pacotes constantemente.

Em todas as simulações percebemos que os valores de tempo de espera na fila, $E[W]$ coincidem com o modelo analítico apresentado por Takagi (Takagi, H., 1988), respeitando que o modelo só é válido para $\rho \leq 1$. Percebemos que para $\rho > 1$ a taxa de pacotes perdidos cresce linearmente, proporcional ao número de nós N .

Podemos concluir que este simulador obtém resultados válidos para tempo de espera da fila em modelos de *buffer* único. E nos fornece métricas de desempenho precisas, para redes sem fio baseadas em *polling*, como o tempo de espera de um pacote na fila, a quantidade total de pacotes enviados e perdidos durante a comunicação e a quantidade de *polls* enviados.

Este simulador também pode ser usado na simulação de outras regras de atendimento, bastando apenas implementá-las na função *nextPoll()*, para que retorne o próximo nó que deve ser atendido.

Concluimos também que, para regras que não possuem modelos analíticos que as representem, o uso deste simulador é de suma importância para analisar o comportamento de novos protocolos baseados em *polling*.

Referências

- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Li, S., Xu, L. D. & Zhao, S. (2015). The internet of things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259.
- Sundani, H., Li, H., Devabhaktuni, V., Alam, M. & Bhattacharya, P. (2011). Wireless Sensor Network Simulators: A Survey and Comparisons. *International Journal Of Computer Networks*, 2(1).
- Tobagi, F. (1980). Multiaccess Protocols in Packet Communication Systems, *IEEE Transactions on Communications*, 28(1), 468–488.
- Takagi, H. (1988). Queuing Analysis of Polling Models, *ACM Comput. Surv.*, 20(1), 5–28.
- Vishnevskii, V. M. & Semenova, O. V. (2006). Mathematical methods to study the polling systems, *Automation and Remote Control*, 67(1), 173–220.
- Kleinrock, L. & Tobagi, F. (1975). Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics. *IEEE Transactions on Communications*, 23(1), 1400–1416.

Asistente Inteligente de Conducción Autónoma para Evitar Obstáculos y Colisiones

Santiago J. Cachumba¹, Pablo A. Briceño², Víctor H. Andaluz³, Germán Erazo⁴.

sjcachumba@espe.edu.ec, pabriceno1@espe.edu.ec, vandaluz1@espe.edu.ec, wgerazo@espe.edu.ec

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, 171103, Sangolquí, Ecuador.

Pages: 532–544

Resumen: En este artículo se presenta la implementación de un asistente inteligente de conducción autónomo, con el fin de prevenir colisiones a causa de la desatención o impericia de los conductores. Para lograr lo requerido, se desarrolla un entorno gráfico en Unity 3D, en el que puede interactuar el usuario mediante los dispositivos hápticos con el vehículo. Para el vehículo se toma como referencia el modelo cinemático de un robot tipo car-like, modelado en Matlab, este permite recrear el comportamiento de un vehículo real. La evasión de obstáculos se da cuando un objeto se encuentra en la trayectoria del vehículo y sobrepasa la distancia mínima de maniobra, en tal caso el controlador toma el mando del vehículo, realiza la evasión, posiciona el vehículo dentro de la trayectoria original y le devuelve el control al conductor. Durante este proceso de evasión se tiene una retroalimentación de fuerza en el volante, que gira de acuerdo a la posición del obstáculo y el pedal de freno, que se acciona según la velocidad del automóvil.

Palabras-clave: Asistente de conducción; Interacción humano-computadora; Prevención de colisión; Realidad Virtual, Unity 3D

Intelligent Autonomous Driving Assistant to Avoid Obstacles and Collisions

Abstract: This article presents the implementation of an intelligent autonomous driving assistant, with the purpose of preventing collisions due to the lack of carelessness of drivers. To achieve what is required, a graphic environment is developed in Unity 3D, in which the user can interact through haptic devices with the vehicle. For the vehicle, the kinematic model of a car-like robot, modeled in Matlab, is taken as a reference, which allows it to recreate the behavior of a real vehicle. Obstacle avoidance occurs when an object is in the vehicle's trajectory and exceeds the minimum maneuvering distance, in which case the controller makes the evasion, positions the vehicle within the original trajectory and returns control to the driver. During this evasion process there is a force feedback on the steering wheel, which rotates according to the position of the obstacle.

Keywords: Collision Prevention; Driver's Assistant; Human-Computer Interaction; Unity 3D, Virtual Reality.

1. Introducción

En la sociedad actual uno de los problemas mundiales más preocupantes sin una solución definitiva son los accidentes de tránsito; a nivel mundial alrededor de 1,35 millones de personas pierden su vida en accidentes de tránsito, de treinta a cincuenta millones padecen traumatismos no mortales que causan algún tipo de discapacidad, este el alto número de accidentes de tránsito tienen impacto sobre la economía de cada país, estas pérdidas económicas equivalen al 3% del producto interno bruto de la mayoría de países en desarrollo; las principales causas de estos accidentes son cansancio, distracción, impericia y el consumo de estupefacientes o bebidas alcohólicas, todas estas causas se deben a errores humanos, (OMS, 2018). Los sistemas de seguridad modernos están enfocados en la reducción del error humano antes mencionado, a través de diferentes sistemas de alerta o asistentes de conducción

En la Figura 1, se puede observar los países con el mayor número de accidentes con consecuencias mortales. Las zonas resaltadas en color rojo pertenecen a los países con mayor tasa de decesos por accidentes de tránsito y se evidencia que en las regiones de África, el sur de Europa, Asia y América del Sur existe la mayor cantidad de accidentes con víctimas mortales, (OMS, 2018)

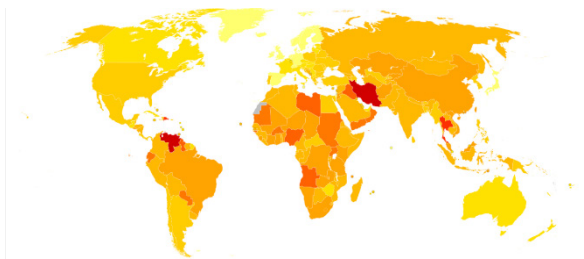


Figura 1 – Índice de accidentes mortales por países (OMS, 2018)

En la República del Ecuador se tiene un alto número de accidentes de tránsito, en comparación a países que están más desarrollados, realizando un análisis cuantitativo, se obtiene como resultado alrededor de 1058 fallecidos en 12460 accidentes durante el año 2018, estas cifras han ido aumentando durante los últimos 4 años, (Cruz, 2018); es evidente la necesidad de medidas que permitan reducir estas cifras. En ciertas ocasiones un accidente de tránsito no puede evitarse, pero se pueden reducir las pérdidas fatales producidas por el mismo, mejorando y modificando los sistemas de seguridad activos y pasivos en los vehículos y la normativa de regulación en aspectos de seguridad para los vehículos que ingresan al Ecuador, ya que ambos factores inciden directamente en la cantidad de accidentes producidos en el país.

Gracias a la implementación de sistemas inteligentes de seguridad en los vehículos, se pueden categorizar en un nivel de conducción autónoma según la SAE, como se identifica en la Figura 2.



Figura 2 – Niveles de conducción autónomo.

Tomando en consideración estos niveles, varias empresas multinacionales de automotores, han optado por implementar estos sistemas de seguridad, como lo es Mercedes Benz, con los siguientes asistentes de conducción: Asistencia de distancia activa DISTRONIC, Asistencia activa de cambio de carril, Asistente de límite de velocidad activa, Asistencia de parada de emergencia activa, asistencia de dirección evasiva, Asistencia de señales de tráfico, Asistente de parqueo, Asistente de aparcamiento remoto. Estos sistemas implementados especialmente en los últimos modelos de Mercedes, lo colocan en el nivel 2 de conducción autónoma, aunque se prevé que para el 2020 o 2021 Mercedes dispondrá de vehículos con nivel 3 de conducción autónoma. Otras marcas de igual manera han implementado sistemas aún más complejos que los han llevado a alcanzar niveles de 3 hasta 4, como lo son BMW, con su modelo i3, Audi, con su modelo Elaine Concept y Tesla, con sus modelos S, 3 y X, entre los más reconocidos.

En el ámbito académico, se han desarrollado investigaciones enfocadas en seguridad vial con el fin de evitar o al menos disminuir la cantidad de accidentes de tránsito ocasionados por la impericia, desatención o el cansancio de los conductores. Entre las investigaciones más relevantes sobre asistentes de conducción, se puede determinar cuatro grupos primordiales, como lo son: i) Asistente de parqueo, que ayudan al conductor a determinar el espacio de estacionamiento y prevenir roces o contactos con muros o coches, en otros casos, el asistente de parqueo es remoto y no necesita que el conductor esté dentro del vehículo para que realice la acción (Wang, Y., & Zhu, X., 2012); ii) Asistente de frenado, que sirven para prevenir colisiones con objetos que se presenten en el camino, ya sean fijos o móviles, ya que el sistema evalúa el riesgo de colisión y advierte al conductor o toma una acción inmediata de frenado (Kusano, K. D., & Gabler, H. C., 2012); iii) Asistente de conducción para corrección de camino, los cuales se basan en el comportamiento del conductor para tomar la acción de redirigir el vehículo y tomar la ruta correcta, con el fin de evitar accidentes en la vía (Bunces, E., & Zambrano, D., 2018). iv) Asistente que permite evadir obstáculos, fijos o móviles, estos evalúan los riesgos de colisión y toman una ruta alternativa en caso de que el conductor no responda

a las advertencias sonoras u ópticas que el sistema emite a través de redes inteligentes de control, que se confirman mediante simulaciones (Schaub, A., Baumgartner, D., & Burschka, D., 2016).

La propuesta de desarrollo de esta investigación consiste en realizar un entorno gráfico en realidad virtual juntamente con un vehículo, dentro del cual se implementa un asistente de conducción autónomo, enfocado a la evasión de obstáculos presentes en la trayectoria del vehículo, mediante un controlador; el algoritmo inteligente toma la decisión de maniobrar para evadir el obstáculo de acuerdo a los datos de posición del mismo; el proceso sistemático de control del automóvil es, realizar la maniobra evasiva, evitar el obstáculo, volver el vehículo hacia su trayectoria original y devolver el control del vehículo al usuario para que este siga su camino, una vez terminado el asistente de conducción el aporte de su implementación será significativo en el aumento de seguridad activa de los vehículos al ser capaz de prevenir colisiones contra objetos que se encuentren obstaculizando el paso del mismo.

El presente artículo está dividido en cinco capítulos; El capítulo I es la introducción. Capítulo II especifica la estructura del sistema. Capítulo III detalla el entorno virtual de la aplicación. Capítulo IV es el desarrollo del asistente autónomo de conducción. Capítulo V son los resultados experimentales de la aplicación en diferentes condiciones de funcionamiento.

2. Estructura del Sistema

El objetivo del sistema es lograr la interacción entre el usuario con el entorno virtual, para lo cual se simula la conducción de un vehículo a través de los dispositivos hápticos y el desarrollo de un ambiente virtual en el que se desplaza el vehículo. De esta manera se estimulan sensaciones en el usuario que le permiten desarrollarse con naturalidad y pueda ejecutar acciones a través del volante y pedales para conducir el vehículo.

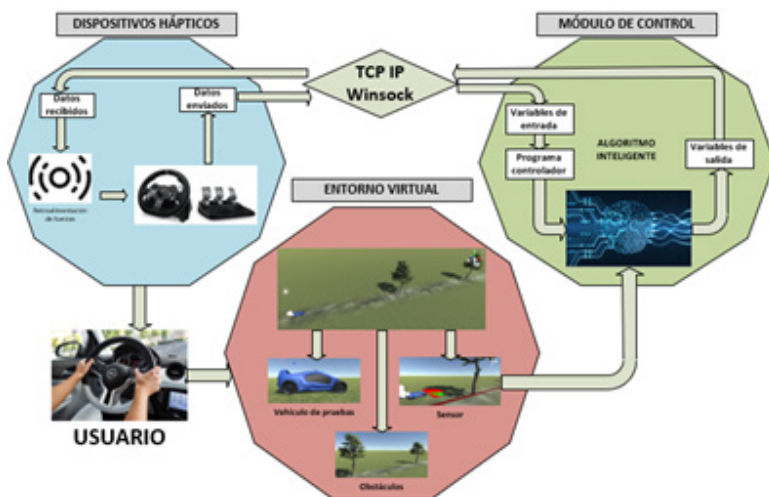


Figura 3 – Estructura del Sistema

Tal como se describe en la Figura 3, la implementación del entorno en realidad virtual brinda la experiencia de inmersión, lo que permite que el usuario se adentre en la simulación y concentre sus sentidos dentro de la misma. La comunicación entre el entorno virtual con el módulo de control se realiza a través del envío de datos de un sensor frontal de tipo Raycast que esta implementado dentro del entorno virtual, estos datos son enviados a través del método de comunicación TCP IP y establecen las acciones de corrección de trayectoria necesarias para evitar colisiones con obstáculos, estas acciones provocan retroalimentación de fuerzas en el volante que son percibidas por el usuario.

Este trabajo está subdividido en cuatro áreas principales, la implementación del entorno mediante realidad virtual, el desarrollo de la estrategia para la identificación de obstáculos, retroalimentación hacia los dispositivos hápticos y pruebas experimentales de utilidad y eficiencia del sistema.

3. Entorno Virtual

Mediante Unity 3D se desarrollan los gráficos que dan vida al entorno virtual, entre los principales, se tiene el terreno, texturas, obstáculos, vehículo en 3D y el sensor que es el encargado de enviar la señal al controlador implementado en Matlab, el cual recepta, procesa la información y envía valores que activan la retroalimentación de fuerza de los dispositivos hápticos para que realice la maniobra evasiva, que se ve reflejada en la pantalla tal como se muestra en la Figura 4.

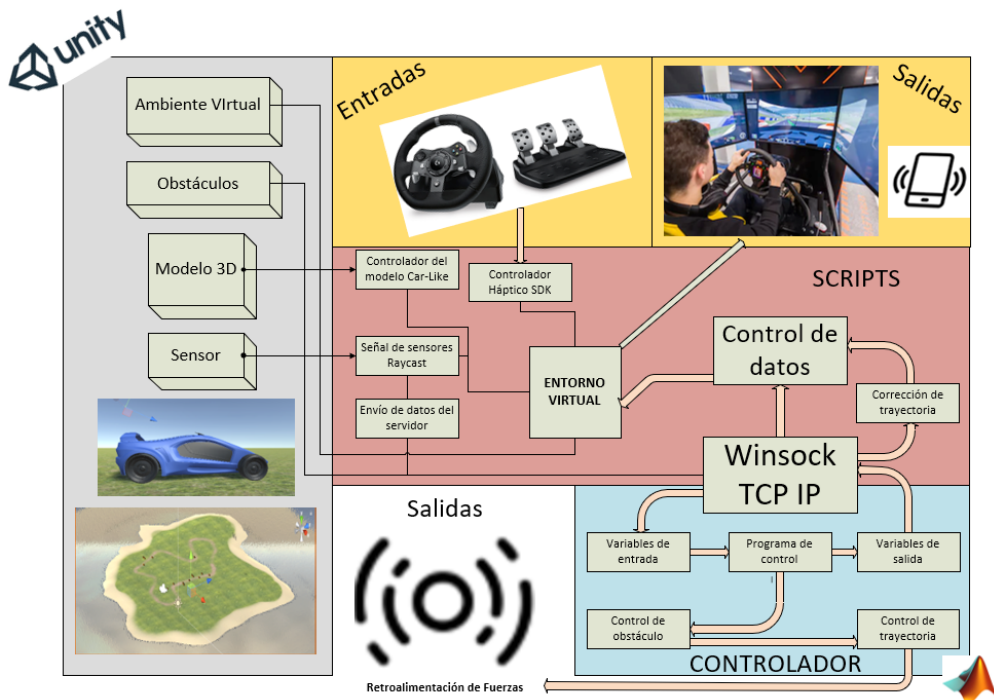


Figura 4 – Desarrollo del entorno virtual

La ruta por la que se desplaza el vehículo se establece en Matlab, mediante 3 ecuaciones que describen diferentes trayectorias, las cuales son: línea recta, senoidal y parábola. Al iniciar la aplicación en Unity 3D y en Matlab, la ruta preseleccionada se dibuja en el entorno virtual. Una vez dibujada la ruta hay la opción de colocar obstáculos en distintas posiciones de acuerdo a la ruta seleccionada. El conductor del vehículo puede maniobrar en diferentes direcciones, ya que el asistente solo corrige la trayectoria si el vehículo se encuentra dentro de la ruta preestablecida y existe un obstáculo de por medio caso contrario el único responsable de la conducción es el usuario.

Dentro de los Scripts implementados en Unity, se tiene el encargado del control y maniobrabilidad del vehículo, en donde se reúne todos los aspectos físicos, dinámicos y cinemáticos para realizar la animación de movilidad del mismo, el encargado de la transmisión de datos en tiempo real desde el entorno virtual de Unity hacia el controlador en Matlab y viceversa; los datos enviados desde Matlab a Unity, corresponden a la trayectoria del vehículo, su velocidad y orientación, que son reflejados en el entorno virtual; en el caso de que se presente un obstáculo en medio de la trayectoria dentro del entorno virtual, se capta una señal mediante el sensor y se envía el valor de la distancia que existe entre el vehículo y el obstáculo hacia el controlador en Matlab, para que el algoritmo inteligente, pueda procesar la información y tome la decisión de enviar una ruta alternativa, disminuyendo la velocidad, para que no sea brusco el cambio de dirección en el vehículo de la simulación en Unity, a fin de evitar una colisión inminente.

La detección de obstáculos se realiza a través de un sensor láser tipo Raycast que permite asignar longitud, dirección y un punto de partida de cada rayo; el sensor se ubica en la parte frontal-central del vehículo y cada rayo se encuentra dispuesto cada 1 grado, contando con 180 rayos en total como se puede observar en la Figura 6a; esta disposición permite obtener una mayor exactitud al entrar en contacto con un obstáculo en el frente del vehículo. La detección depende de la ubicación del obstáculo y su distancia; si el objeto está demasiado cerca, la fuerza de retroalimentación será más notoria.

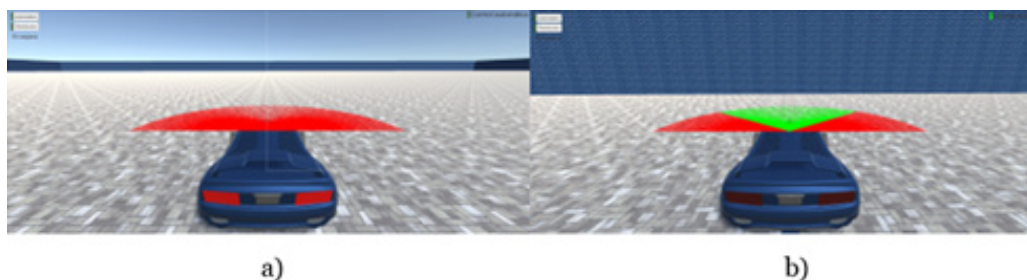


Figura 5 – a) Disposición de los Raycast b) Detección de obstáculos.

Tal como se muestra en la Figura 5b, los rayos más cercanos al obstáculo cambian de color a verde, obteniendo valores de distancia y dirección, son procesados en Unity 3D mediante el Script de control de trayectoria, luego son enviados hacia el controlador de Matlab, en donde se procesan y si el conductor no realiza ninguna acción evasiva, se toma la decisión de quitar el control al conductor y evadirlo de manera automática, cambiando

la dirección del vehículo y dando la retroalimentación de fuerza en el volante. Una vez evadido este obstáculo se le devuelve el control al conductor del vehículo permitiéndole seguir su camino o detener el vehículo si el usuario lo decide.

Además, dentro del entorno virtual se ha implementado una opción de piloto automático, como se puede ver en la Figura 6, en donde al activarse el manejo se realiza de manera autónoma por el asistente a través de la ruta seleccionada previamente y el conductor puede frenar el vehículo en cualquier momento.



Figura 6 – Activación de opción automático.

4. Asistente Autónomo

El modelado cinemático del automóvil corresponde al de un robot tipo Car-Like, permite recrear el comportamiento de un vehículo real, partiendo de la distancia entre ejes D , un centro de giro ICR que se ve reflejado en el ángulo de las ruedas φ , también un ángulo θ que representa la posición angular del vehículo con respecto al eje X , y como último dato importante se tiene la distancia a , que es el punto en donde se realiza el análisis de control; la velocidad lineal u y angular ω , son los datos que permiten al vehículo seguir la trayectoria establecida.

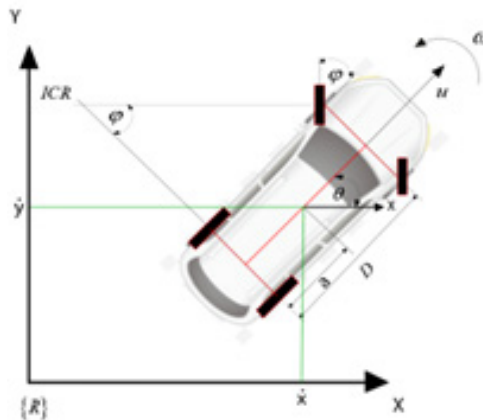


Figura 7 – Modelo cinemático car - like.

En base a la Figura 7 se puede definir el modelo cinemático del vehículo como se describe en las ecuaciones (1) y (2):

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) - a \sin(\theta) \\ \sin(\theta) - a \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\theta = \omega = \frac{u}{D} \tan(\varphi) \quad (2)$$

El desarrollo del control de trayectoria se realiza a través de la ley de seguimiento de camino (3) establecida como:

$$V_{ref} = J^{-1}[V_d + K \tanh(\tilde{h})] \quad (3)$$

El vector de velocidad deseada V_d es tangente a la trayectoria del automóvil y el ángulo β representa la dirección del camino con respecto a la orientación del vehículo; esto sirve para determinar las componentes de la velocidad en los ejes X y Y , como se muestra en la Figura 8, logrando así que el vehículo siga la trayectoria asignada.

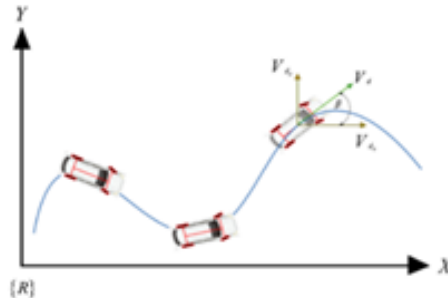


Figura 8 – Control de seguimiento de camino.

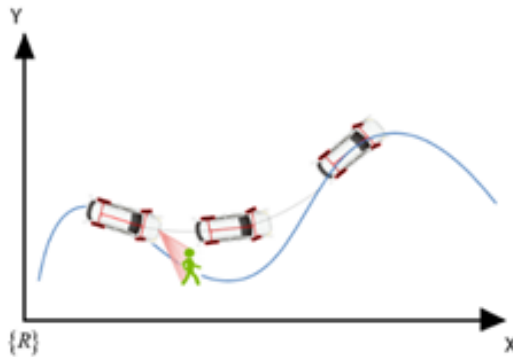


Figura 9 – Control de seguimiento de camino.

Una vez aplicada la ley de seguimiento de camino, se adiciona la detección de objetos mediante el sensor tipo Raycast implementado en Unity, el cual envía una serie de datos que son receptados por el controlador y procesador, para que se modifique la trayectoria y se evada el obstáculo en cuestión, así como se muestra en la Figura 9.

Por lo tanto, la evasión de obstáculos está dada por la ecuación (4):

$$v_{ref} = J^{-1} \left[V_d + K \tanh(\tilde{h}) \right] + V_{abs} \quad (4)$$

Los valores de la matriz V_{obs} son el resultado de los datos recibidos por el sensor, que son de distancia (5) y dirección (6) y son representados de la siguiente manera:

$$u_{obs} = Z^{-1} \left(K_{uobs} (r - d) \left(\frac{\pi}{2} - |\alpha| \right) \right) \quad (5)$$

$$\omega_{obs} = Z^{-1} \left(K_{\omega obs} (r - d) (\alpha) \left(\frac{\pi}{2} - |\alpha| \right) \right) \quad (6)$$

Los datos recibidos por el sensor en tiempo real son la distancia del vehículo hacia el obstáculo y el ángulo de posición del rayo del sensor.

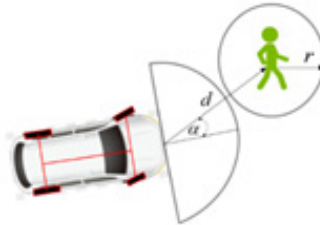


Figura 11 – Control de seguimiento de camino.

Para realizar el proceso de evasión, es se modifica la velocidad del vehículo para que el movimiento no sea agresivo, para lo cual se calcula el nuevo módulo de velocidad (7) de la siguiente manera:

$$v_d = \frac{v_{max}}{1 + K_1(\rho) + K_2(u_{obs})} \quad (7)$$

Las ecuaciones planteadas anteriormente han sido implementadas en código de programación en Matlab para el control cinemático del vehículo y la evasión de obstáculos.

5. Resultados

Para la etapa de finalización del asistente de conducción, se realizan pruebas experimentales en el ambiente virtual, a fin de evaluar el correcto funcionamiento del mismo, con trayectorias distintas, para verificar que el sistema cumple con las expectativas deseadas en diferentes condiciones de servicio.

Para realizar las pruebas del asistente, se utiliza un computador de escritorio (Intel (R) Core (TM) i7-4770, 8 GB en memoria RAM, con tarjeta de video NVIDIA GeForce GTX 650, junto a los dispositivos hápticos, como lo son el volante y pedales con retroalimentación de fuerzas (Logitech G920).

Como se mencionó las rutas preestablecidas son las que se ven en la Figura 13, de acuerdo a la forma de la ruta se generan obstáculos que se encuentren en las mismas para poder detectarlos y evadirlos.

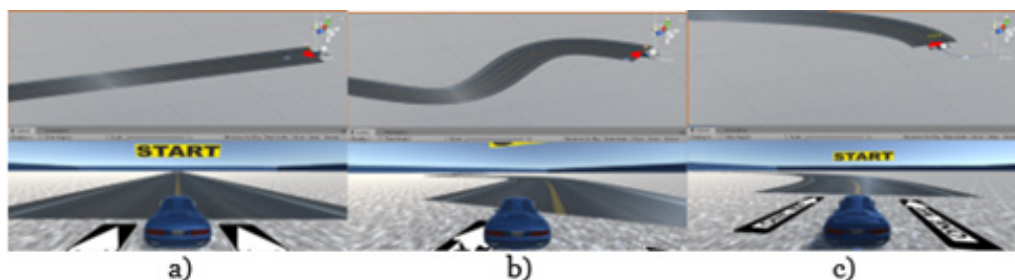


Figura 12 – a) Trayectoria recta; b) Trayectoria senoidal; c) Trayectoria parabólica

Para realizar la prueba se seleccionó la trayectoria senoidal y se observa el comportamiento del vehículo y la retroalimentación de fuerzas cuando se acerca a un objeto, obteniendo los siguientes resultados.

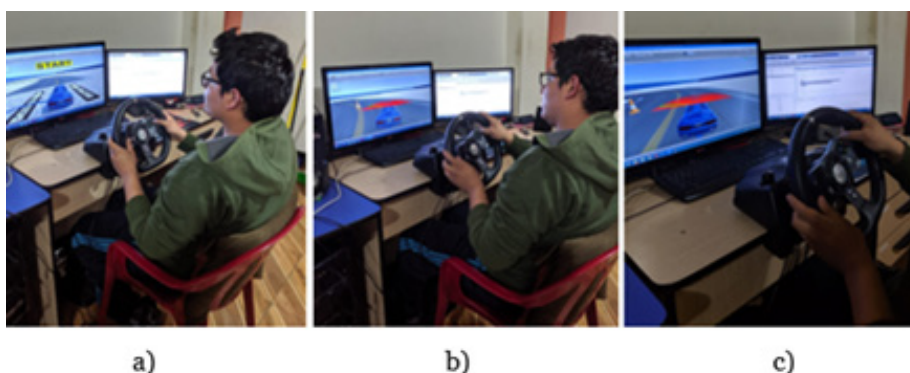


Figura 13 – a) Inicio de pruebas; b) Detección y evasión de obstáculo; c) Detección del obstáculo sin evasión

En la figura 14-a) se evidencia el inicio de la prueba el volante y los pedales responden de manera correcta, en la figura 14-b) se encuentra el primer obstáculo que esta dentro de la zona de censado del Raycast, el asistente quita el control del vehículo al usuario, evade el obstáculo y luego de evadirlo devuelve el control al conductor, en la figura 14-c) el controlador detecta un obstáculo pero puesto que este se encuentra fuera de la zona mínima de evasión el asistente no quita el control al usuario y este puede seguir manejando el vehículo sin ningún problema.

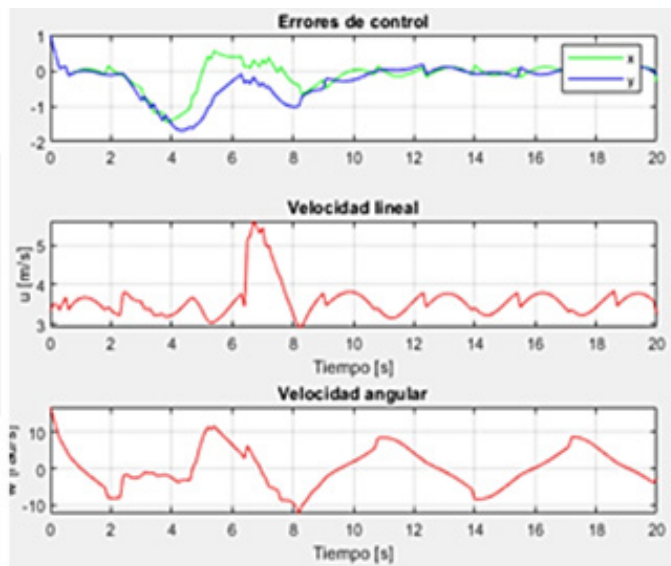


Figura 14 – Gráficas obtenidas en la prueba de ruta senoidal

Los resultados después de la simulación muestran el comportamiento del controlador al tener diferentes obstáculos en el camino. En la Figura 15 se muestran tres gráficas importantes como son: i) La gráfica del error que aunque comienza en un valor positivo y con respecto al tiempo varia hasta valores negativos más altos debido a los obstáculos, siempre los valores al final del error tienden a cero, ya que esta es la función del controlador y mediante la gráfica se comprueba que el controlador está correctamente implementado; ii) la gráfica de la velocidad lineal muestra el comportamiento del vehículo en su desplazamiento lineal, pero debido a que la trayectoria es un senoide, la velocidad varía en una escala entre 0 a 4 aproximadamente, siendo la más baja cuando el vehículo se encuentra en la cresta de la función y la velocidad más alta cuando el vehículo retoma el camino; en la gráfica se muestra una cresta que llega a una velocidad de 5.5 aproximadamente, cuando el vehículo encuentra un obstáculo en el camino y realiza la maniobra evasiva; iii) la gráfica de la velocidad angular representa la velocidad de giro del vehículo, que a comparación de la gráfica anterior, varía en una escala más amplia entre 0 a 10 aproximadamente debido a que la trayectoria tiene muchas curvas; entre la escala de tiempo de 4 a 8 aproximadamente donde se encuentra el obstáculo

más notorio, se puede observar como la curva se interrumpe y realiza un cambio de velocidad más perpendicular que los otros, demostrando como el vehículo evade el obstáculo exitosamente y después retoma la trayectoria predeterminada.

6. Conclusiones

En el presente documento se presentó el diseño de un asistente autónomo de conducción para evitar colisiones con objetos, el diseño del asistente se basa en un modelo cinemático car-like con un controlador de seguimiento de camino, el asistente de conducción se activa en caso de existir un obstáculo y el conductor no lo está evadiendo.

Cuando el asistente entra en funcionamiento realiza 3 procesos, toma el control del auto, evade el obstáculo y devuelve el control al usuario, esto permite asegurar mayor seguridad tanto para conductores de vehículos que sean principiantes o avanzados como también para transeúntes o demás vehículos que se encuentren en la vía, permitiendo reducir el número de accidentes por descuidos o impericia de la gente.

El uso de realidad virtual permite realizar las pruebas de funcionamiento en un entorno seguro, al ser un simulador se puede declarar que el resultado de las pruebas virtuales sería aproximado a res

Para posibles trabajos futuros se puede incluir un algoritmo de control que incluya inteligencia artificial para que el sistema continúe aprendiendo en base de sus errores y permita obtener una mejor optimización, además de realizar la construcción de un prototipo de vehículo autónomo en el que se pueda incluir este asistente para verificar su importancia.

Referencias

- Bunces, E., & Zambrano, D. (2018, November). Autonomous Assistance Control Based on Inattention of the Driver When Driving a Truck Tract. In International Conference on Social Robotics (pp. 11-24). Springer, Cham.
- Cruz, E. (17 de Agosto de 2018). Tasa de fallecidos por accidentes de tránsito en Ecuador ha aumentado en el 2018. *El Universo*, pág. 10.
- Du, X., & Tan, K. K. (2014). Autonomous reverse parking system based on robust path generation and improved sliding mode control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(3), 1225-1237.
- Eckert, A., Hartmann, B., Sevenich, M., & Rieth, P. (2011, June). Emergency steer & brake assist: a systematic approach for system integration of two complementary driver assistance systems. In 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) (pp. 13-16).
- Gao, Y., Lin, T., Borrelli, F., Tseng, E., & Hrovat, D. (2010, January). Predictive control of autonomous ground vehicles with obstacle avoidance on slippery roads. In ASME 2010 dynamic systems and control conference (pp. 265-272). American Society of Mechanical Engineers.

- Gupta, A., Divekar, R., & Agrawal, M. (2010, December). Autonomous parallel parking system for Ackerman steering four wheelers. In 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (pp. 1-6). IEEE.
- Kusano, K. D., & Gabler, H. C. (2012). Safety benefits of forward collision warning, brake assist, and autonomous braking systems in rear-end collisions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(4), 1546-1555.
- Levinson, J., Askeland, J., Becker, J., Dolson, J., Held, D., Kammel, S., ... & Sokolsky, M. (2011, June). Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms. In 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 163-168). IEEE.
- Liniger, A., Domahidi, A., & Morari, M. (2015). Optimization-based autonomous racing of 1: 43 scale RC cars. *Optimal Control Applications and Methods*, 36(5), 628-647.
- Mayorga, O. A., & Andaluz, V. H. (2018, November). Autonomous Control Through the Level of Fatigue Applied to the Control of Autonomous Vehicles. In *International Conference on Social Robotics* (pp. 115-126). Springer, Cham.
- National Highway Traffic Safety Administration, "Automated Vehicles for Safety", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>.
- Organización Mundial de la Salud, "Accidentes de tránsito", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- Schaub, A., Baumgartner, D., & Burschka, D. (2016). Reactive obstacle avoidance for highly maneuverable vehicles based on a two-stage optical flow clustering. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(8), 2137-2152.
- Segura, R., Urrutia, P., Salazar, F., & Buele, J. (2019). Virtual Environment for Remote Control of UGVs Using a Haptic Device. *Developments and Advances in Defense and Security, Smart Innovation, System and Technologies* 152.
- Trösterer, S., Wurhofer, D., Rödel, C., & Tscheligi, M. (2014, September). Using a parking assist system over time: Insights on acceptance and experiences. In *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 1-8). ACM.
- Wang, Y., & Zhu, X. (2012, June). Design and implementation of an integrated multi-functional autonomous parking system with Fuzzy logic controller. In 2012 American Control Conference (ACC) (pp. 2928-2933). IEEE.

La escala de Competencia Digital y uso de Recursos Educativos Abiertos (CD-REA): factores asociados a la competencia de los docentes universitarios bimodales

Celia Paola Sarango-Lapo¹, Juanjo Mena², María-Soledad Ramírez-Montoya³, Eulogio Real⁴

cpsarango@utpl.edu.ec, juanjo_mena@usal.es, solramirez@tec.mx, joseeulogio.real@usc.es

¹ Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, 110107, Loja, Ecuador.

² Universidad de Salamanca, 37007, Salamanca, España.

³ Tecnológico de Monterrey, 64700, Monterrey, México.

⁴ Universidad de Santiago de Compostela, 15703, Santiago de Compostela, España.

Pages: 545–558

Resumen: En esta investigación se emplea la escala CD-REA para medir la competencia digital de información y uso de REA y determinar cuáles son los factores asociados a ésta por parte de una muestra de 271 docentes universitarios bimodales (que imparten docencia presencial y a distancia). Un estudio psicométrico previo mostró una excelente consistencia interna de las subescalas, determinada empleando el coeficiente alfa de Cronbach, así como una adecuada validez de constructo, determinada mediante análisis factorial confirmatorio (AFC). A continuación, mediante un análisis de varianza (ANOVA) se comprobó que las puntuaciones proporcionadas por la escala estaban relacionadas con diversas características personales, laborales, académicas y profesionales de los docentes. En conclusión, la escala constituye un instrumento con evidencia de validez y fiabilidad para medir la competencia digital de información y de uso de REA y permitió predecir el perfil adecuado del docente bimodal.

Palabras-clave: competencia digital docente; recurso educativo abierto; análisis factorial; validez de constructo; análisis de varianza

The scale of Digital Competence and utilization of Open Educational Resources (CD-REA): factors associated with competence in bimodal university teachers

Abstract: In this research, the CD-REA scale is employed to measure the digital competence of information and use of OER and figure out which factors are associated to the digital competence in a sample of 271 bimodal (teaching both in classic and distance learning) university teachers. A psychometric study of the

scale revealed both an excellent internal consistency for the subscales, measured using Cronbach's coefficient, and good construct validity, determined using Confirmatory Factor Analysis (CFA). Secondly, ANOVA analyses revealed that the scores provided by the scale were related to different personal, work, academic and professional characteristics of the educators, which supports their usefulness for evaluating digital competences. In conclusion, the scale constitutes an instrument with evidence of validity and reliability, which allows to measure the digital competence of information and use of OER and allowed predicting the adequate profile in bimodal teachers.

Keywords: teacher digital competences; open educational resources; factor analysis; construct validity; variance analysis

1. Introducción

A medida que la sociedad se digitaliza, cada vez más existe una creciente demanda por nuevos tipos de enseñanza que integren la tecnología en la educación (Instefjord & Munthe, 2017). Hoy en día los maestros deben repensar y transformar las tradiciones educativas con el apoyo de la tecnología (Pettersson, 2018), una opción la constituye el uso de REA en sus prácticas (Xie, Di Tosto, Chen & Vongkulluksn, 2018). Ante ello, las universidades buscan reformular la formación permanente del profesorado, para que adquieran competencias digitales que respondan a dichas necesidades (Ramírez-Montoya, Mena & Rodríguez-Arroyo, 2017), tratando de acercar al profesor hacia un modelo reflexivo, indagador y creativo, con interés por el uso y producción de REA como parte fundamental de su profesión (Cabero-Almenara, Roig-Vila & Mengual-Andrés, 2017). En este sentido, las competencias digitales y en sí las competencias digitales de información se han declarado claves para la ciudadanía y son objeto de investigación (Álvarez & Gisbert, 2015; James & Bossu, 2014; Moreno, Gabarda, & Rodríguez, 2018; Rodríguez-García, Raso Sánchez, & Ruiz-Palmero, 2019).

Según Ferrari (2013) la competencia digital es la capacidad para utilizar las tecnologías y la información de modo crítico y reflexivo, con el propósito de construir nuevo conocimiento (Caldeiro-Pedreira & Aguaded-Gómez, 2015; Instefjord, 2016). Por su parte, la competencia digital de información es entendida como la habilidad para tratar la información y aprovecharla para construir conocimiento y aprendizaje y dar respuesta a los problemas (Álvarez & Gisbert, 2015), ello supone reconocer la necesidad de información, de localizarla, analizarla, gestionarla y transformarla en conocimiento. Es allí donde, los REA adquieren especial importancia como información o material de calidad, disponible en la red bajo licencia creative commons, y que apoya la actividad docente y de investigación del profesor.

Algunas son las organizaciones que han definido marcos teóricos para orientar a las instituciones educativas en el desarrollo de la competencia digital docente, entre ellas la Association of College and Research Libraries (ACRL, 2000); Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del profesorado (INTEF, 2017) e International Society for Technology in Education (ISTE, 2008). No obstante, este aspecto aún sigue siendo un desafío, según García-Valcárcel y Mena (2016) los programas de formación no logran preparar lo suficiente a los docentes para el uso eficiente de las tecnologías, por consiguiente, puede que su uso se este dando en situaciones ajenas a la educación

(Hernández-Ramos, Martínez-Abad, García-Peñalvo, Herrera-García & Rodríguez-Conde, 2014). Lo antes expuesto lo evidencia la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 2015) en su informe elaborado a partir de los datos de la encuesta TALIS (Teaching and Learning International Survey, en sus siglas en inglés) que señala que menos del 40% del profesorado utilizan las tecnologías como parte de su proceso de enseñanza y por tanto consideran los programas de formación docente como una segunda prioridad.

Por su importancia, las competencias digitales han sido objeto de investigación por la comunidad científica, algunas orientadas a la búsqueda de su definición y estructura (Ferrari, 2013), otras sobre la innovación con la integración de las tecnologías en las aulas (Area-Moreira, Hernández-Rivero & Sosa-Alonso, 2016; Gutiérrez & Gómez, 2014; Hart & Laher, 2015); o sobre el uso de técnicas de enseñanza online (Mena, Rincón, Ramírez & Ramírez-Montoya, 2018). Así también, existen ciertas investigaciones sobre las dificultades y actitudes frente al uso de los REA (Hart, Chetty & Archer, 2015; Hu, Li, Li & Huang, 2015). En cuanto a la evaluación de competencias digitales, algunas miden las percepciones y actitudes docentes frente al uso de las tecnologías (Álvarez & Gisbert, 2015; Hernández-Carranza, Romero-Corella, & Ramírez-Montoya, 2015; Sandoval Rubilar, Rodríguez Alvear, & Maldonado Fuentes, 2017; Vera, Torres, & Martínez, 2014), otras validan escalas para su evaluación (Mengual-Andrés, Roig-Vila, & Blasco, 2016; Pérez & Rodríguez-Conde, 2016; Tour, Martin, Navarro, Pradas, & Iñigo, 2018).

No obstante, cabe destacar la escasez de estudios relacionados con las competencias digitales de información y uso de REA del docente universitario bimodal, y los factores que influyen para su desarrollo, siendo este el motivo del presente estudio. Como lo describe ACRL (2000) la competencia informacional comprende el conjunto de habilidades para reconocer la información, localizarla, evaluarla y usarla de manera efectiva. Algunos estudios empíricos han trabajado la competencia informacional (Álvarez & Gisbert, 2015; Pérez & Rodríguez-Conde, 2016) donde destaca la comunicación de información. En este marco, la apropiación de la competencia para el uso de los recursos tecnológicos en contextos diferentes a los usuales desarrolla la innovación (Hepp, Prats & Holgado, 2015; Xie et al., 2018). En consecuencia, el uso de REA conlleva innovación, siempre que se realicen cambios en las metodologías y técnicas de enseñanza, en los ambientes de aprendizaje.

Nuestra definición operacional del concepto de competencia informacional parte de la proporcionada por la ACRL (2000). A nivel teórico se consideró el modelo propuesto por INTEF (2017); más específicamente, se tomó el área de información y de alfabetización informacional, que describe las competencias de navegación y búsqueda, evaluación, y almacenamiento y recuperación de la información, datos y contenido digital. Seguidamente, se analizó el marco de competencia digital propuesto por Almutka (2011) y Ferrari (2013) y las normas propuestas por ISTE (2008) y UNESCO (2008). También, con el propósito de determinar las dimensiones de la competencia digital de información, se consideraron diversos estudios empíricos (Álvarez & Gisbert, 2015; Pérez & Rodríguez-Conde, 2016; Rodríguez-Conde et al., 2012).

Por tanto, las dimensiones planteadas en el estudio para la escala de competencia digital de información y de uso de REA son cuatro: (1) Competencias de búsqueda, selección y

evaluación de la información, (2) Competencias de almacenamiento y recuperación de la información, (3) Competencias en la comunicación y difusión de la información, y (4) Competencias en el uso de REA.

A partir de lo antes señalado, los objetivos de nuestra investigación son dos: (1) comprobar la fiabilidad y validez de constructo de la escala CD-REA y (2) determinar cuáles son los factores o características asociados a la competencia digital. Cabe señalar que, la importancia de este estudio radica en proveer de una escala validada que permita medir la competencia digital de información y su repercusión para el uso de REA en los docentes universitarios bimodales, con posibilidad de ser transferida hacia otros ámbitos que quieran potenciar las competencias digitales integrando este tipo de recursos, por ejemplo, los cursos masivos abiertos.

2. Método

2.1. Diseño

Se llevó a cabo un estudio transversal con un enfoque descriptivo correlacional, en el que se utilizó la encuesta online para entender la realidad según es vista por los participantes (Kerlinger & Lee, 2002). Se enmarca a su vez dentro de la metodología *ex-post-facto* puesto que no se modifica el objeto de estudio, sino que nuestro interés último es el de encontrar relaciones entre las variables de la investigación.

2.2. Muestra

La muestra objeto de estudio está compuesta por docentes bimodales (es decir, docentes en modalidad presencial y a distancia) de una institución de Educación Superior del sur del Ecuador. Más concretamente, nuestra muestra corresponde a un grupo de 277 docentes participantes en un curso de innovación educativa basada en evidencias con Recursos Educativos Abiertos (REA). Su participación en el curso les convierte en una muestra idónea para el estudio de las competencias digitales basadas en REA. En la muestra se encuentran representadas las cuatro áreas de conocimiento existentes en esta institución (Socio-Humanística, Biológica y Biomédica, Técnica y Administrativa). El nivel de formación de los docentes abarca desde licenciatura hasta maestría y doctorado.

2.3. Instrumentos

Basándonos en la fundamentación teórica y empírica ya comentada, se desarrolló una escala de evaluación de las competencias digitales de información y del uso de los REA. La escala constaba de 16 ítems con cinco opciones de respuesta tipo Likert: nada de dominio, poco dominio, dominio regular, buen dominio y excelente dominio. Así pues, nuestra escala medía la competencia percibida por los sujetos en cada uno de los aspectos considerados; es decir, su autoeficacia específica en este dominio (Bandura, 1997; Bandura, 1999). De los 16 ítems de la escala, cuatro correspondían a Competencias de búsqueda, selección y evaluación de la información (Ia, Ib, Ic, y Id); tres ítems correspondían a Competencias de almacenamiento y recuperación de la información (IIa, IIb, IIc); 3 ítems correspondían a Competencias en la comunicación y difusión de

la información (IIIa, IIIb, IIIc); finalmente, 6 ítems correspondían a Competencias en el uso de REA (IVa, IVb, IVc, IVd, IVe, IVf). Además de la escala CD-REA, el cuestionario también incluía preguntas acerca de la situación laboral, los años de experiencia en la universidad, además de otros aspectos personales, académicos, laborales y de desempeño profesional.

2.4. Procedimiento

Los datos se recogieron al término del curso, mediante un instrumento online creado con la herramienta survey monkey. El acceso al instrumento estaba accesible únicamente a la muestra de participantes, y se garantizó el anonimato y la confidencialidad de las respuestas.

Una vez recogidos los datos, se llevó a cabo una revisión de las respuestas de los sujetos en busca de cuestionarios incompletos o incorrectamente cumplimentados. Se encontró que las respuestas de seis de los sujetos de la muestra no eran correctas, por lo que nuestra muestra final consistió en 271 sujetos.

2.5. Análisis de datos

A partir de los datos proporcionados por el instrumento de recogida de datos, se comprobó la validez de constructo de la escala CD-REA mediante análisis factorial confirmatorio (AFC). Como método de estimación, se empleó máxima verosimilitud. Una vez confirmada la estructura de la escala, se determinó la consistencia interna de cada subescala mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Finalmente, con el objetivo de comprobar la relación entre las competencias digitales de los sujetos y diversas características de tipo personal, académico, laboral y de desempeño profesional de los sujetos, se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA), tomando las puntuaciones en la escala como variable dependiente, y las características de los sujetos como variables independientes.

3. Resultados

La tabla 1 muestra los estadísticos descriptivos correspondientes a los 16 ítems de la escala CD-REA. En la mayoría de los casos, las medias están próximas al valor central (3), y la desviación típica se encuentra próxima a 1.

	Media	d. t.
Ia. Competencia para la búsqueda, selección y evaluación de información (Sabe navegar por Internet y conoce de mecanismos de búsqueda de información)	3,91	,805
Ib. Competencia para la búsqueda, selección y evaluación de información (Se apoya de palabras clave relacionadas a la información que necesita y utiliza operadores ("y," "o") para realizar la búsqueda de información)	3,66	,958
Ic. Competencia para la búsqueda, selección y evaluación de información (Selecciona la información en función de los propósitos de búsqueda y verifica su licencia de uso)	3,44	,925

	Media	d. t.
Id. Competencia para la búsqueda, selección y evaluación de información (Evalúa críticamente los resultados de información encontrada para integrarlo a sus conocimientos siempre que vayan en coherencia con los propósitos deseados)	3,78	,889
Ila. Competencia para el almacenamiento y recuperación de información que produce (Almacena la información en repositorios de acceso abierto, sitios abiertos como: blog, wikis, o sitios privados como bases de datos o bibliotecas digitales)	2,88	1,168
Ilb. Competencia para el almacenamiento y recuperación de información que produce (Agrega metadatos y licencias Creative Commons a la información que almacena, para ayudar a la visibilidad de la información)	2,43	1,175
Ilc. Competencia para el almacenamiento y recuperación de información que produce (Entiende los riesgos y ventajas de almacenar la información de manera pública o privada)	3,11	1,188
IIa. Competencia para la comunicación de la información por medios tecnológicos (Selecciona los medios de comunicación que mejor se adecúan a sus propósitos (ej. Skype, Hangout, email, etc.))	3,71	,958
IIb. Competencia para la comunicación de la información por medios tecnológicos (Sabe transmitir las ideas de forma escrita y verbal utilizando las tecnologías síncronas y asíncronas)	3,75	,822
IIc. Competencia para la comunicación de la información por medios tecnológicos (Difunde los resultados de la información que produce en repositorios de acceso abierto, sitios abiertos como: blogs, wikis o medios abiertos (1, seminarios online), o sitios privados como bases de datos o bibliotecas digitales)	2,79	1,088
IVa. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (Utiliza REA (videos, imágenes, audios con licencia Creative Commons) en la planificación docente)	3,48	,976
IVb. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (Consulta y cita REA (artículos con licencia Creative Commons) como apoyo a sus investigaciones)	3,32	1,044
IVc. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (En el aula diseña actividades con REA para reforzar el aprendizaje)	3,31	,958
IVd. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (Promueve en los estudiantes, colegas y entorno, el interés por usar los REA)	3,19	1,032
IVe. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (Promueve en los estudiantes, colegas y entorno, el interés por publicar en abierto)	2,81	1,063
IVf. Apropiación de la competencia digital en el uso de Recursos Educativos Abiertos (Colabora en redes académicas de discusión e investigación sobre REA)	2,28	1,129
N válido (por lista)		

Tabla 1 – Medias y desviaciones típicas para los 16 ítems de la escala

En la primera fila de la Tabla 2 se muestran los índices de ajuste correspondientes a la estructura factorial del modelo teórico original (ver Figura 1). Como puede observarse, el modelo no ajusta bajo ninguno de los criterios recomendados en la literatura ($c^2/g. l. \leq 3$; GFI, CFI $\geq ,90$; RMSEA $\leq ,05$; Hu & Bentler, 1998; Kline, 2015; McDonald & Ho, 2002).

Modelo	c²	g. l.	P	c²/g. l.	GFI	CFI	RMSEA
Modelo original	469,72	99	,000	4,75	,796	,852	,118
Modelo ajustado	217,96	86	,000	2,53	,909	,947	,075

Tabla 2 – Indicadores de ajuste para los distintos modelos de AFC sometidos a comprobación

Dada la falta de ajuste del modelo original, se comprobaron los índices de modificación, que mostraron la existencia de un buen número de covarianzas significativas entre los residuos de algunos ítems. Aunque se considera una modificación relativamente benigna del modelo, la existencia de covarianzas entre los errores puede deberse a la existencia de variables latentes no especificadas en el modelo, dado que indica que los ítems de éste comparten información que no ha sido especificada en el mismo (Byrne, 2010). Así pues, se incorporaron a nuestro modelo sólo aquellas covarianzas que mostraron significación estadística, lo que proporcionó unos índices de ajuste mucho mejores, aunque el valor de RMSEA no cumple con el criterio de ajuste más estricto, pero puede aceptarse como un valor razonable siempre que se encuentre por debajo de .08 (Byrne, 2010). Los valores de ajuste se muestran en la segunda fila de la Tabla 2, y el modelo ajustado, junto con sus coeficientes, puede verse en la zona derecha de la Figura 1.

Una vez confirmada la estructura factorial de la escala CD-REA, se calculó la consistencia interna de cada una de las subescalas que la componen. Los valores del estadístico alfa de Cronbach obtenidos fueron satisfactorios en todos los casos (Competencias de búsqueda y evaluación= .873; Competencias de almacenamiento y recuperación: .893; Competencias de comunicación de la información: .805; Competencias de uso de REA: .788), aunque algunas de las subescalas constaban de sólo 3 ítems.

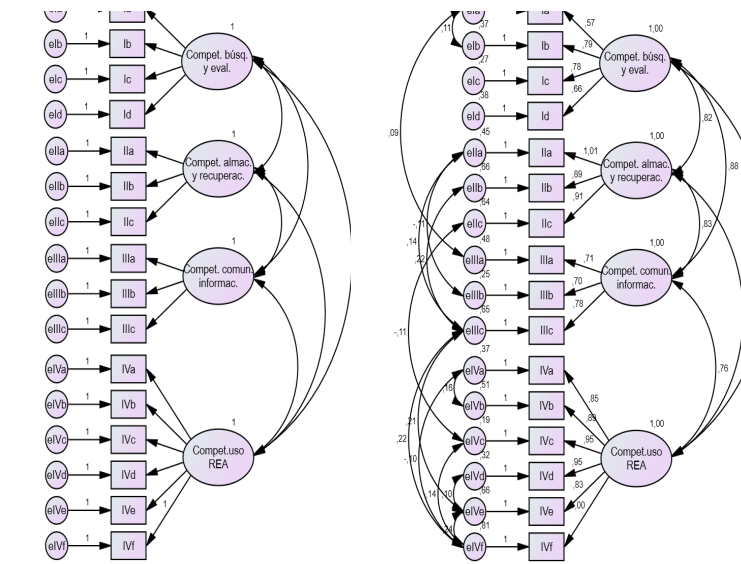


Figura 1 – Modelo de estructuras de covarianza para la escala CD-REA (izquierda), y modelo ajustado, junto con sus coeficientes asociados (derecha).

En la Figura 1 puede apreciarse también la existencia de correlaciones moderadas a altas (r entre .60 y .88; $p < .001$ en todos los casos) entre los factores de la escala CD-REA, lo que viene a indicar que, aunque los datos se ajustan a la estructura factorial teórica, existen grandes relaciones entre las 4 subescalas, por lo que, en lugar de tomar las puntuaciones de cada subescala por separado, se utilizará la puntuación global en la escala como medida de las competencias digitales de información de los sujetos.

Una vez efectuadas las comprobaciones relativas a validez de constructo y consistencia interna de las subescalas, cabe preguntarse cuáles son los factores asociados a la competencia digital medida a través de la escala CD-REA. Para ello, y adicionalmente a los ítems de la escala, la muestra de sujetos también proporcionó una serie de información relativa a aspectos personales, académicos, laborales y de desempeño profesional, que podrían estar asociados a un mayor o menor grado de competencia digital. En la Tabla 3 se detallan estos aspectos, junto con sus características principales.

Ámbito	Variables	Niveles	Códigos
Personal	Sexo	2	(0= F) (1= M)
Laboral	Tipo de contratación	3	
	Área académica:	2	(0= No) (1= Sí)
	– Socio Humanística		
	– Técnica		
	– Administrativa		
	– Biológica y Biomédica		
Académico	Años de docencia	4	
	Nivel académico	4	
	Número de cursos realizados relacionados con REA	4	
	Número de cursos de innovación educativa	4	
Profesional			
Uso internet	Horas de uso de internet en general	4	
	Horas búsqueda de información para la asignatura	5	
	Horas para comunicación con los estudiantes	5	
	Horas asesoría EVA	5	
	Horas para comunicación con comunidades virtuales de tipo profesional	5	
Uso de TIC	N.º de beneficios percibidos de las TIC	6	
	N.º de habilidades que posee en el uso de las TIC	5	
	N.º de experiencias de innovación aplicadas en la docencia	18	
	N.º de tipos de aprendizaje aplicados en su práctica docente	20	
	N.º de acciones ejercidas para innovar en su aula	6	
	N.º de medios utilizados para difundir las innovaciones	10	
	N.º de motivos para participar en prácticas de innovación docente	6	

Tabla 3 – Variables asociadas a la competencia digital. Se indican, en negrita, aquellas variables asociadas de forma significativa con la puntuación global en la escala CD-REA. Para cada variable se indica, a la derecha, el número de niveles o categorías de respuesta, así como los códigos correspondientes, en caso de tratarse de una variable categórica.

Los aspectos incluidos en la tabla 3 fueron incluidos como predictores de la puntuación global en la escala CD-REA. Dado que las variables correspondientes a estos aspectos incluían una mezcla de variables cuantitativas, ordinales y nominales, se llevó a cabo un ANOVA univariado, tomando como variable dependiente la puntuación global, y los aspectos mencionados como predictores. Dada la gran cantidad de potenciales predictores, sólo se tuvieron en cuenta los efectos principales.

La prueba de Levene de homogeneidad de varianzas ofreció resultados satisfactorios ($F= 1,112$; g. l.= 211, 38; $p= .359$). El análisis mostró efectos significativos para ocho de los aspectos considerados, que se muestran en negrita en la Tabla 3. Los aspectos cuyo efecto fue significativo se muestran en la Tabla 4, junto con su significación, el valor de eta cuadrado, y la potencia observada para cada efecto.

Origen	F	Sig.	Eta ² parcial	Potencia
Modelo corregido	7,504	,000	,421	1,000
Intersección	31,707	,000	,123	1,000
Horas de uso de internet en general	5,420	,001	,067	,934
Sexo	8,230	,005	,035	,815
N.º de cursos realizados relacionados con REA	3,084	,028	,039	,716
Años de docencia	4,247	,006	,053	,857
Nivel académico	2,766	,043	,035	,664
Nº horas para comunicación con estudiantes	3,155	,026	,040	,727
Nº acciones ejercidas para innovar en el aula*	16,891	,000	,069	,984
Nº habilidades que poseen en el uso de las TIC*	24,705	,000	,098	,999

Tabla 4 – Variables personales, laborales, académicas y de desempeño profesional asociadas con la puntuación global en la escala CD-REA. Las covariables se señalan con asteriscos. $R^2= .421$; R^2 corregida= .365.

El primer efecto más importante corresponde a una de las covariables introducidas en el modelo: número de habilidades que posee el docente en el uso de las TIC ($Eta^2 = .098$), lo que viene a poner de manifiesto la relevancia que el dominio de las TIC tiene para el uso de REA. La segunda covariable, el número de acciones de innovación en el aula obtuvo el segundo efecto más importante ($Eta^2 = .069$), lo que viene a indicar la significancia que tiene la innovación en el aula. En tercer lugar, se sitúa el número de horas de uso de internet ($Eta^2 = .067$). En cuarto lugar, se encuentra el número de años de docencia ($Eta^2 = .073$). En este caso, la inspección de las medias mostró una mayor puntuación para aquellos sujetos con menos años de docencia, con una bajada gradual de la media a medida que aumentaba el número de años, lo que pone de manifiesto que los docentes más jóvenes son los mejor cualificados para el uso de REA. En quinto lugar, estaría el número de horas dedicadas a comunicarse online con los estudiantes ($Eta^2 = .040$; la inspección de las medias mostró que éstas eran mayores cuanto mayor fuese el número de horas dedicadas por el docente a esta actividad, lo que pone de manifiesto la importancia de la comunicación en entornos de REA. En sexto lugar se

encuentra el número de cursos relacionados con REA que ha realizado el docente ($\eta^2 = .039$); este resultado es de esperar, por cuanto a mayor número de cursos realizados se esperaría una mayor experiencia en el uso de REA. En séptimo y octavo lugar se encuentra el sexo y el nivel académico ($\eta^2 = .035$ en ambos casos). En el caso del sexo, se encontró una media ligeramente mayor para hombres que para mujeres. En el caso del nivel académico, se encontró que la media en la escala CD-REA fue más baja para los sujetos que sólo poseían licenciatura, mientras que los niveles superiores (maestría y, especialmente, doctorado) obtuvieron medias significativamente mayores.

4. Conclusiones

A raíz de los resultados encontrados, podemos concluir que la escala mide las competencias digitales de información de los docentes con una validez y fiabilidad pertinente. Los valores del alfa de Cronbach encontrados indican una elevada consistencia interna, incluso para aquellas subescalas que contienen pocos ítems.

Por lo que se refiere a la validez de constructo, el AFC mostró que la estructura en cuatro subescalas es adecuada para describir la estructura del CD-REA. Lo antes expuesto, nos lleva a concluir que la escala cumple con los requisitos de fiabilidad y validez y se constituye en un instrumento práctico que podría ayudar al análisis de las competencias digitales de información y de uso de REA en docentes bimodales, y en función de los resultados determinar programas de formación de refuerzo.

Adicionalmente, se encontró que las puntuaciones proporcionadas por la escala estaban fuertemente asociadas con diversas características de los docentes, lo que viene a reforzar su utilidad a la hora de evaluar las competencias digitales. El elevado tamaño del efecto encontrado ($R^2 = .421$) nos indica la idoneidad de la escala para evaluar con precisión las competencias digitales de los docentes de nuestra muestra y detectar los factores responsables de éstas.

Asimismo, la inspección de las características asociadas con las puntuaciones del CD-REA nos permiten visualizar el perfil del docente ideal en recursos educativos abiertos, como una persona joven, preferiblemente con doctorado o máster, con habilidades en el uso de las TIC y formación en REA, innovador en el aula, que se comunica con frecuencia con sus estudiantes, y que tiene una elevada actividad online. Estos resultados nos llevan a proponer que se refuercen las competencias digitales entre los docentes a fin de que estén en condiciones de evaluar, producir y difundir la información (Álvarez & Gisbert, 2015; Tour et al., 2018) y los REA (Cabero-Almenara et al., 2017).

Aunque se encontraron diferencias en favor de los hombres, dado que éstas fueron de escasa magnitud, el sexo no tendría relevancia para este perfil. En el caso de la experiencia docente, su relación con las competencias digitales fue inversa. Este resultado no debe ser interpretado literalmente, sino que probablemente refleja un efecto de cohorte, donde los docentes más experimentados son aquellos que, por motivos generacionales, están menos familiarizados con el uso de herramientas digitales, mientras que aquellos más jóvenes se encuentran más familiarizados con las mismas. Así pues, el efecto encontrado

no se debe a la experiencia en sí, sino que enmascara un efecto debido a la cohorte o generación a la que pertenece el docente.

Por lo que se refiere a las limitaciones de nuestro estudio figura el hecho de que los profesores de la muestra eran bimodales y, por tanto, combinan características de docentes presenciales y a distancia, algo que no es frecuente en la mayoría de los docentes universitarios.

Finalmente, como aportaciones de nuestro estudio para futuras investigaciones, sería interesante averiguar si existen diferencias y, en caso afirmativo, de qué tipo son, entre los docentes presenciales y los docentes a distancia en los aspectos que pretende medir la escala. Asimismo, también sería deseable hacer comprobaciones adicionales sobre la validez concurrente y predictiva de la escala, con el fin de incrementar su utilidad y aplicabilidad en contextos formativos en los que se integren REA o donde se pretendan introducir este tipo de recursos para potenciar el desarrollo de competencias digitales.

Referencias

- ACRL. (2000). Information Literacy Competency Standards for Higher Education. Retrieved from <https://goo.gl/csVxYx>
- Ala-Mutka, K. (2011). Mapping digital competence: towards a conceptual understanding. *Prospective Technological Studies*. Retrieved from http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC67075_TN.pdf
- Álvarez, J.-F., & Gisbert, M. (2015). Grado de alfabetización informacional del profesorado de Secundaria en España: Creencias y autopercepciones. *Comunicar*, 45, 187–194. <https://doi.org/10.3916/C45-2015-20>
- Area-Moreira, M., Hernández-Rivero, V., & Sosa-Alonso, J.-J. (2016). Modelos de integración didáctica de las TIC en el aula. *Comunicar*, 47, 79–87. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3916/C47-2016-08>
- Cabero-Almenara, J., Roig-Vila, R., & Mengual-Andrés, S. (2017). Conocimientos tecnológicos, pedagógicos y disciplinares de los futuros docentes según el modelo TPACK. *Digital Education Review*, 32, 73–84. Retrieved from <http://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/16981/pdf>
- Caldeiro-Pedreira, M.-C., & Aguaded-Gómez, I. (2015). Alfabetización comunicativa y competencia mediática en la sociedad hipercomunicada. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 9(1), 37–55.
- Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: A Framework for Developing and Understanding Digital Competence in Europe*. <https://doi.org/10.2788/52966>
- García-Valcárcel, A., & Mena, J. (2016). Information Technology as a Way To Support Collaborative Learning: What In-Service Teachers Think, Know and Do. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 9(1), 1–17. <https://doi.org/10.4018/JITR.2016010101>

- Gutiérrez, J., & Gómez, M. (2014). Influencia de las TIC en los procesos de aprendizaje y comunicación de los estudiantes de educación. *Revista de Pedagogía*, 35(97-98), 34-51. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65935862004>
- Hart, K., Chetty, Y., & Archer, E. (2015). Uptake of OER by staff in distance education in South Africa. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 16(2), 18-45. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v16i2.2047>
- Hart, S., & Laher, S. (2015). Perceived usefulness and culture as predictors of teachers attitudes towards educational technology in South Africa. *South African Journal of Education*, 35(4), 1-13. <https://doi.org/10.15700/saje.v35n4a1180>
- Hepp, P., Prats, M., & Holgado, J. (2015). Formación de educadores: la tecnología al servicio del desarrollo de un perfil profesional innovador y reflexivo. *RUSC. Revista de Universidad y Sociedad Del Conocimiento*, 12(2), 30-43. <https://doi.org/10.7238/rusc.v12i2.2458>
- Hernández-Carranza, E.-E., Romero-Corella, S.-I., & Ramírez-Montoya, M.-S. (2015). Evaluación de competencias digitales didácticas en cursos masivos abiertos: Contribución al movimiento latinoamericano. *Comunicar*, 44, 81-90. <https://doi.org/10.3916/C44-2015-09>
- Hernández-Ramos, J., Martínez-Abad, F., García-Peñalvo, F., Herrera-García, M., & Rodríguez-Conde, M. (2014). Teachers' attitude regarding the use of ICT. A factor reliability and validity study. *Computers in Human Behavior*, 31, 509-516. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.04.039>
- Hu, E., Li, Y., Li, J., & Huang, W.-H. (2015). Open educational resources (OER) usage and barriers: a study from Zhejiang University, China. *Educational Technology Research and Development*, 63, 957-974. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9398-1>
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*, 3, 424-453.
- Instefjord, E. (2016). Appropriation of Digital Competence in Teacher Education. *Nordic Journal of Digital Literacy*, 155-171.
- Instefjord, E., & Munthe, E. (2017). Educating digitally competent teachers: A study of integration of professional digital competence in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 67, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.05.016>
- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas del Profesorado. (2017). Marco Común De Competencia Digital Docente. *Marco Estratégico de Desarrollo Profesional Docente*, 72. Retrieved from <http://educalab.es/documents/10180/12809/MarcoComunCompeDigiDoceV2.pdf>
- INTEF. (2017). Marco Común de Competencia Digital Docente. Retrieved from <https://tinyurl.com/ybk2uuge>

- ISTE. (2008). International Society for Technology in Education (ISTE). Standards for Teachers. Retrieved from http://www.iste.org/docs/pdfs/20-14_ISTE_Standards-T_PDF.pdf
- James, R., & Bossu, C. (2014). Conversations from south of the equator: Challenges and Opportunities in OER across Broader Oceania. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 11(3), 78–90. <https://doi.org/10.7238/rusc.v11i3.2220>
- Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento, métodos de investigación en Ciencias Sociales* (4a ed.). México: McGrawHill.
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling*. (E. Guildford, Ed.) (4th ed). New York, NY.
- McDonald, R. P., & Ho, M.-H. R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological Methods*, 7, 64–82.
- Mena, J., Rincón, E., Ramírez, R., & Ramírez-Montoya, M.-S. (2018). The use of gamification as a teaching methodology in a MOOC about the strategic energy reform in México. In *8th International Conference in Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning*. Toledo, Spain.
- Mengual-Andrés, S., Roig-Vila, R., & Blasco, J. (2016). Delphi study for the design and validation of a questionnaire about digital competences in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 13, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s41239-016-0009-y>
- Moreno, M., Gabarda, V., & Rodriguez, A. (2018). Alfabetización informacional y competencia digital en estudiantes de magisterio. *Profesorado. Revista de Curriculum y Formación Del Profesorado*, 22(3), 253–270.
- OECD. (2015). Teaching with Technology. Retrieved from <https://tinyurl.com/ybpfeejp>
- Pérez, A., & Rodríguez-Conde, M. (2016). Evaluación de las competencias digitales autopercebidas del profesorado de Educación Primaria en Castilla y León (España). *Revista de Investigación Educativa*, 34(2), 399–415. <https://doi.org/10.6018/rie.34.2.215121>
- Pettersson, F. (2018). On the issues of digital competence in educational contexts – a review of literature. *Education and Information Technologies*, 23(3), 1005–1021. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9649-3>
- Ramírez-Montoya, M.-S., Mena, J., & Rodríguez-Arroyo, J.-A. (2017). In-service teachers' self-perceptions of digital competence and OER use as determined by a xMOOC training course. *Computers in Human Behavior*, 77, 356–364. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.09.010>
- Rodríguez-Conde, M., Olmos, S., & Martínez, F. (2012). Propiedades métricas y estructura dimensional de la adaptación española de una escala de evaluación de competencia informacional autopercebida (IL-HUMASS). *Revista de Investigación Educativa*, 30(2), 347–365. <https://doi.org/10.6018/rie.30.2.120231>

- Rodríguez-García, A.-M., Raso Sánchez, F., & Ruiz-Palmero, J. (2019). Competencia digital, educación superior y formación del profesorado: un estudio de meta-análisis en la Web of Science. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 54, 65–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i54.04>
- Sandoval Rubilar, P., Rodríguez Alvear, F., & Maldonado Fuentes, A. C. (2017). Evaluación de la alfabetización digital y pedagógica en TIC , a partir de las opiniones de estudiantes en. *Educação e Pesquisa*, 43(1), 127–143. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1590/s1517-9702201701154907>
- Tour, J., Martin, D., Navarro, E., Pradas, S., & Iñigo, V. (2018). Validación de constructo de un instrumento para medir la competencia digital docente de los profesores (CDD). *Revista Española de Pedagogía*, 76, 25–54.
- UNESCO. (2008). Estándares de competencias en TIC para Docentes. Retrieved from <http://www.oei.es/tic/UNESCOEstandaresDocentes.pdf>
- Vera, J., Torres, L., & Martínez, E. (2014). Evaluación de competencias básicas en TIC en docentes de educación superior en México. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 44, 143–155. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2014.i44.10>
- Xie, K., Di Tosto, G., Chen, S.-B., & Vongkulluksn, V. (2018). A systematic review of design and technology components of educational digital resources. *Computers & Education*, 127, 90–106. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.011>

OntoSSR: Una solución para diseño estándar de sistemas de información en el dominio de salud sexual y reproductiva

Erika Gallego¹, Helder Castrillón¹, Leydi Erazo¹, Francisco Obando¹

erikagallego@unicomfacauc.edu.co, hcastrillon@unicomfacauc.edu.co, lerazo@unicomfacauc.edu.co, fobando@unicomfacauc.edu.co

¹ Corporación Universitaria Comfacauc, Ingeniería de Sistemas, Popayán n Cl 4 N° 8-30, Cauca, Colombia.

Pages: 559–571

Resumen: Los sistemas de información ofrecen grandes beneficios en todos los sectores y la salud no podía ser la excepción. Contar con sistemas de información que capturen, procesen, almacenen y compartan información de las personas de forma rápida y confiable fortalece el acceso y disfrute de los servicios de salud. Este artículo propone una ontología de dominio la cual describe la terminología y funcionalidad necesaria para el desarrollo de sistemas de información en el contexto de la Salud Sexual y Reproductiva. Se realizó la evaluación de la ontología sobre la estructura taxonómica y su completitud, para eliminar redundancia entre las clases e identificar inconsistencias entre los conceptos.

Palabras-clave: Ontología; Salud sexual y reproductiva; Diseño de Software; Sistemas de información en salud

OntoSSR: A solution for standard design of health information systems

Abstract: Information Systems offer great benefits in all sectors and health could not be the exception. Having Information Systems that capture, process, store and share people's information quickly and reliably strengthens access and enjoyment of health services. This article proposes a domain ontology which describes the terminology and functionality necessary for the development of Information Systems in the context of Sexual and Reproductive Health. The evaluation of the ontology on the taxonomic structure and its completeness was performed, to eliminate redundancy between classes and identify inconsistencies between concepts.

Keywords: Ontology; Sexual and reproductive health; Software Design; Health Information Systems

1. Introducción

Con el propósito de mejorar el acceso a los servicios de salud, en Colombia se han presentado estrategias y políticas como la Política de Atención Integral en Salud (PAIS)

y el Plan Decenal de Salud Pública (PDSP) 2012-2021 (Ministerio de Salud., 2013), etc., pero estos esfuerzos no han sido suficientes (Yepes & Marín, 2018). El déficit en las finanzas públicas, la distribución desigual de las condiciones de vida, los malos manejos de los recursos, entre otros, generan grandes dificultades para asegurar la sostenibilidad de la salud pública y la calidad de los servicios de salud. En el contexto de salud pública, las problemáticas que más aquejan al país están asociadas con la salud sexual, afectando en gran medida la población vulnerable del país. Por tanto, el estado colombiano invierte en mejorar la Salud Sexual y Reproductiva (SSR), promoviendo una sexualidad plena, segura, digna y responsable (Ministerio de Salud, 2012)

Contar con información sistematizada, actualizada y disponible del sistema de salud en Colombia, podría mejorar el acceso a los servicios de salud vinculados a las instituciones del sector (Gutiérrez, 2018), por tanto en Colombia se han propuesto soluciones para mejorar la gestión de la información, entre las cuales se encuentran: el Sistema Integral de Información de la Protección Social, SISPRO (Congreso de Colombia, 2011); el Sistema de Vigilancia en Salud Pública, SIVIGILA (Ministerio de Salud, 2006); los RIPS (Ministerio de salud, 2000); el RUAF (Ministerio de Salud, 2002) entre otros que aportan al Sistema de Información de Salud (SIS) del país para el análisis situacional y la toma de decisiones basadas en información.

Las soluciones planteadas anteriormente contribuyen a la gestión de la información, mejorando los procesos de atención en salud, disminuyendo el tiempo de comunicación y realización de (Departamento Administrativo de la Función Pública., 2012). Sin embargo, los sistemas de información que se usan, por ejemplo, de las Secretarías de Salud, no cumplen en su totalidad los requerimientos para soportar la gestión y el reporte de información en salud de forma rápida y segura. Una solución de este tipo puede existir sólo si los actores de este sector, soportan sus procesos con sistemas funcionalmente confiables, que permitan el intercambio de información con otros actores de forma estandarizada y confiable, a través de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Con el uso de las TIC en salud surgen algunos retos como mejorar la compatibilidad entre sistemas, el intercambio y disponibilidad de información, entre otros; de no solucionarse se pueden presentar problemas de acceso, mantenibilidad y confiabilidad en los diferentes dominios del sector salud. La creación de una ontología de dominio que comprenda los conceptos relacionados con el sector, contribuiría con la estandarización de la información que utilizan y comparten los actores relacionados con la prestación de estos servicios y permitirá el desarrollo de sistemas de información eficientes para soportar los programas de salud.

Debido a que la información requerida para trabajar en temas de salud es compleja, este artículo se acota al dominio de SSR. Por tanto, se propone la creación de una ontología de dominio que represente conceptos necesarios para la identificación de la información relacionada con SSR. Además, que sirva como base para implementar SIS que soporten las distintas dimensiones priorizadas dentro de la SSR (Ministerio de Salud., 2013).

Este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presentan algunos trabajos relacionados. La construcción de la ontología presentada en la Sección 3. En la sección 4 se presenta la evaluación de la idoneidad y completitud de la ontología. Finalmente, las conclusiones y trabajos futuros son presentados en la Sección 5.

2. Trabajos relacionados

Con base en los conceptos principales de este trabajo se realizó una búsqueda de trabajos relacionados con ontologías (Gruber, 1993) y SSR. Algunos de los trabajos realizados en este campo se enfocan en la elaboración de sistemas de toma de decisiones o marcos generales como se describe a continuación.

(Zhang et al., 2016) Diseñó y desarrolló un CDS (Clinical Decision Support) basado en el modelo VRM (Virtual Medical Record) propuesto en (Decision, Work, & Pat, 2018), permitiendo la interoperabilidad a través de asignaciones de la terminología, como parte del trabajo fue necesario el desarrollo de una ontología que comprende 62 clases y 84 propiedades, para definir los aspectos relevantes en el desarrollo de CDS y normas existentes. En otro trabajo se describe un CDS para acelerar la toma de decisiones en complicaciones de la salud, basado en discusiones con expertos médicos y factores de riesgo de enfermedades, también para detectar automáticamente problemas médicos y generar recomendaciones adecuadas, específicamente en la hiperglicemia en la diabetes tipo 2 (Mezghani, Silveira, Pruski, Exposito, & Drira, 2016).

Por otro lado (Lozano-Rubí, Muñoz Carrero, Serrano Balazote, & Pastor, 2016) diseñaron un prototipo de repositorio clínico tomando como referencia la norma CEN / ISO 13606, para apoyar la interoperabilidad y el registro clínico, preservando el registro clínico inicial y la confidencialidad según lo previsto por el autor y el paciente. En otro trabajo (Cedeno-Moreno & Vargas-Lombardo, 2018), presentan una metodología que extrae los datos necesarios utilizando herramientas de PNL (Natural Language Processing) y permite crear una base de conocimiento estableciendo instancias de una ontología de forma automática para ayudar a los médicos especialistas. La metodología planteada tuvo en cuenta recursos y documentos médicos de los pacientes en Panamá.

El trabajo de (Pozza, Borgo, Oltramari, Contalbrigo, & Marangon, 2016) realiza un estudio de entidades públicas y privadas en el dominio de las ciencias de la vida, que se encuentran en la fase de análisis y recepción de información, basado en una ontología que busca mejorar la transparencia de datos y mejorar los procesos de la organización. (Campbell & Pereira, 2016) Propone un enfoque sistemático basado en una ontología para personalizar el desarrollo de aplicaciones en salud, junto a un marco de trabajo que permite a los profesionales en salud desarrollar aplicaciones móviles para pacientes, sin la intervención de los desarrolladores; la ontología desarrollada puede ser utilizada durante el diseño de la solución para determinar normas, validación y viabilidad en un dispositivo en particular. (Azarm, Ave, Peyton, & Ave, 2018) Plantean un marco de trabajo compuesto por un portal web y un conjunto de APIs (Application Programming Interface) en el cual utilizan aplicaciones móviles en salud y un conjunto de herramientas que proporcionan acceso a la información médica personal. Para tal fin se creó una ontología que proporciona la definición de conceptos, entidades y atributos que se adaptan al marco propuesto, caracterizando los datos y facilitando el acceso a la información.

Las ontologías mencionadas contribuyen a la toma de decisiones en las organizaciones donde se han implementado, sin embargo, estas ontologías fueron diseñadas para un dominio general y no para un dominio específico como el caso SSR, no obstante, la SSR es una dimensión que requiere la integración entre las diferentes líneas que la componen.

3. Construcción de la ontología

El desarrollo de esta ontología hace parte del proyecto “Framework para el desarrollo de Sistemas de Información como herramienta de soporte para los programas de Salud Sexual y Reproductiva” (H. Castrillon, L.Erazo, F. Obando, E.Gallego), donde se elaboró inicialmente una Revisión Sistemática (RS), evidenciando que no se cuenta con trabajos aplicables al desarrollo de SIS específicamente en SSR y tampoco se encontraron ontologías que puedan reutilizarse. El dominio para la ontología corresponde a la dimensión de SSR, priorizado para el sistema de salud colombiano, a través del PDSP (Ministerio de Salud., 2013), proporcionando recomendaciones básicas para la implementación de programas de SSR y algunas recomendaciones para el desarrollo de sistemas de información, que soporten estos programas. La definición de términos, propiedades de las clases, atributos e instancias, se realizó con la información que proporcionan las organizaciones encargadas de este dominio, como la secretaría de salud departamental del Cauca (Gobernación del Cauca, 2019), también normas relacionadas con los SIS en Colombia y los aportes obtenidos de otros trabajos identificados en la RS. Para la creación de la ontología se tomó como referencia la metodología planteada por (Noy & McGuinness, 2000), usada en otros trabajos bajo la recomendación de HL7 (Azarm et al., 2018). La metodología guía el desarrollo de una ontología siguiendo los pasos descritos a continuación.

3.1. Definición del dominio y alcance de la ontología

La ontología propuesta que en adelante se llamará OntoSSR, proporciona conceptos para entender y organizar los datos asociados al dominio SSR con el fin de estandarizar la información y funcionalidades que deben tener en cuenta los encargados de diseñar SIS, específicamente para los programas de SSR.

Determinar el dominio y el alcance de la ontología propuesta requiere plantear preguntas que permitan definir el nivel de detalle de las respuestas, conocidas también como preguntas de competencia. Para el dominio de SSR las preguntas de competencia se describen a continuación:

- ¿Cuál es la información para cada una de las líneas de SSR?
- ¿Cuál es la funcionalidad para cada una de las líneas de SSR?
- ¿Cuáles son las fuentes de datos que están relacionadas con el modelo de información en la dimensión de SSR?
- ¿Cuáles son las líneas definidas para el tema de Salud Sexual y Reproductiva?
- ¿Cuáles son las reglas a tener en cuenta para el registro información de SSR?
- ¿Cuáles son los tipos de datos que se deben usar en un modelo de información?
- ¿Cuáles son los valores válidos que debe contener la información?

A partir de esta lista de preguntas, la ontología aporta la terminología necesaria para describir el dominio.

3.2. Identificación de términos importantes en la ontología

Teniendo en cuenta que OntoSSR es una herramienta de soporte para los programas de SSR, fue necesario identificar términos que representen conceptos importantes del dominio de información. Los conceptos principales se presentan a continuación:

Dimensión sexualidad, derechos sexuales y reproductivos, conjunto de acciones que promueven, generan y desarrollan medios para garantizar el cumplimiento de la SSR (Ministerio de Salud., 2013); **Líneas SSR**, componentes de la dimensión SSR identificados en el PDSP (Ministerio de Salud., 2013); **Infecciones de Transmisión Sexual (ITS)**, infecciones causadas por el contacto sexual (World Health Organisation, 2019); **Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH)**, infección a las células del sistema inmunitario (Roberto Vázquez Campuzano, 2016); **Maternidad segura**, derecho en su totalidad al acceso de servicios de salud para las madres y recién nacidos (Ministerio de Salud, 2015a); **violencia de género**, acción o conducta agresiva ejercida sobre las mujeres; **planificación familiar**, acceso a los métodos anticonceptivos para las mujeres y parejas (Ministerio de Salud., 2008) ; **Cáncer de Cuello Uterino (CCU)**, virus que afecta las paredes del útero (Marañón C, Mastrapa C, Flores, Vaillant, & Landazuri, 2017); **Cáncer de Próstata**, inflamación a la glándula prostática; **uso de métodos anticonceptivos**, derecho a vivir la sexualidad con seguridad (Ministerio de Salud., 2008); **prevención aborto inseguro/Intervención Voluntaria del Embarazo (IVE)** derecho al aborto legal y seguro (Ministerio de Salud, 2015b); **modelo funcional**, actividades y procesos que representa al sistema; **modelo de información**, datos que estructuran la información de acuerdo a la necesidad del sistema; **tipo de dato**, valor que puede tomar un dato; **tipo de objeto**, unidad que recibe datos; **reglas**, método de validación de información; **fuentes de datos**, elementos que ayudan a definir el modelo de información; **organización**, entidad creada para ofrecer y garantizar a los afiliados la prestación del servicio de salud; **prestador**, entidad que concede atención de salud a beneficiarios; **nivel**, tipo de complejidad en la atención que ofrece un prestador; **asegurador**, compañía que presta un servicio de salud; **privado** tipo de empresa dependiente de socios no gubernamentales; **público**, organización administrativa financiada por el estado; **Empresa Promotora de Salud (EPS) –subsidiado**, entidades responsables de la afiliación y la prestación del servicio de salud a la población vulnerable subsidiado por el estado; **centros especializados**, institución privada encargada de prestar servicios de alta complejidad; **Instituciones Prestadoras de Salud**, entidad contratada por las EPS encargada de ofrecer el servicio de salud; **clínicas, hospitales, Empresa Social del Estado (E.S.E.)**, conjunto de organizaciones encargadas de prestar atención en salud a la población beneficiada; **registro único de afiliados**, sistema de clasificación que permite garantizar la información y la correcta afiliación al sistema de salud (Ministerio de Salud, 2006); **registros individuales de prestación de servicio**, conjunto de datos mínimos del Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS) (Ministerio de salud, 2000) **sistema de vigilancia en salud pública**, sistema que almacena eventualidades que afecten o puedan afectar la salud de la población (Ministerio de Salud, 2006); **Resolución 4505**, establece el reporte relacionado con el registro de detección temprana de enfermedades de interés en salud pública; **base de datos líneas SSR**, sistema de información utilizado para SSR (Gobernación del Cauca, 2019)

3.3. Identificación clases y su jerarquía

Para la definición de clases de OntoSSR se usaron los conceptos que se nombraron en el paso anterior y se pueden observar en la Tabla 1. La identificación de las clases y su respectiva jerarquía son la base para la creación de instancias y definir el nivel de detalle requerido para el dominio de la información en SSR.

Concepto	Jerarquía
<i>Dimensión sexualidad, derechos sexuales y reproductivos</i>	D
<i>Líneas Salud Sexual y Reproductiva</i>	CD
<i>Modelo funcional</i>	CLSSR
<i>Modelo de información</i>	CLSSR
<i>Tipo de dato</i>	CMI
<i>Tipo de objeto</i>	CMI
<i>Reglas</i>	CMI
<i>Fuente de datos</i>	CD
<i>Organización</i>	SD
<i>Prestador</i>	SO
<i>Nivel</i>	SP
<i>Asegurador</i>	SO
<i>Privado</i>	SPA
<i>Público</i>	SPA
<i>Empresa promotora de salud - régimen subsidiado (EPSS)</i>	ISA
<i>Centros especializados</i>	SPP
<i>Instituciones Prestadoras de Salud (IPS)</i>	SPP
<i>Clínicas</i>	SPP
<i>Hospitales</i>	SPP
<i>Empresa social del estado (ESE)</i>	SPP
<i>Empresa promotora de salud (EPS)</i>	SPP

Tabla 1 – Jerarquía de clases de OntoSSR

Las abreviaciones presentadas en la Tabla 1 hacen referencia a la jerarquía y se clasifica en: (D) Dominio, (CD) Clase de dominio, (CLSSR) Clase de Línea SSR, (CMI) Clase de modelo de información, (SD) Subclase del dominio, (SO) Subclase de organización, (SPA) Subclase de prestador y asegurador, (ISA) Instancia de subclase publico asegurador, (SPP) Subclase de prestador privado

3.4. Definición de propiedades de las clases

Para la definición de las propiedades asociadas a las clases y subclases se tuvo en cuenta su representación real en los sistemas de información actuales y la forma que son identificados, como ejemplo, las IPS, se definen por su nombre, las responsabilidades generalmente contratadas por las EPS y un nivel de complejidad de atención¹.

¹ Tabla de propiedades de las clases y subclases, características, atributos y relaciones de las clases, disponible en. <http://bit.ly/2lNPYAr>

3.5. Definición de las facetas de las propiedades

Las facetas corresponden a los tipos de datos asociados a las propiedades o slot, también a las restricciones que pueden presentar. Para OntoSSR se identificaron los tipos de datos básicos que presentan las propiedades, estos son: String, Numeric, Boolean y Date, además, se identificaron otros tipos de registros que restringe las opciones de valor, como ejemplo en sexo y el tipo de documento.²

3.6. Creación de instancias

Existen instancias asociadas a una o varias clases, estas definen el valor de las subclases en un nivel más interno (Noy & McGuinness, 2000). Durante la construcción de la ontología se identificaron nuevas instancias, para un total de 46 instancias.³

Dos grupos de instancias importantes para el proceso de desarrollo son las asociadas a las clases modelo funcional y modelo de información, debido a que son los insumos principales para el diseño de los sistemas de información. Estos grupos de instancias están soportadas por el Functional Model (FM) propuesto por HL7. (HL7, 2015) y el Catálogo de Datos (CD) formalizado por el ministerio de Salud de Colombia a través del SISPRO.

El FM está compuesto por 19 capítulos, el capítulo priorizado para el dominio SSR es el denominado *HL7 EHR-System Public Health Functional Profile, Release v2*, que describe las funcionalidades para el dominio de la salud pública. La adopción del FM para la representación funcional en OntoSSR se puede entender de la siguiente forma: Si se desea identificar las funcionalidades para diseñar un sistema debe referirse a los criterios de conformidad (R2 VR Conformance Criteria). El CD ofrece las variables requeridas por los sistemas de información nacional y que son la fuente principal para los sistemas en salud pública en Colombia. Por tanto, se han creado dos grupos de instancias para representar el mapeo las variables utilizadas por los sistemas de información en salud pública con las instancias del modelo de información, este proceso se hizo manualmente y se validó con expertos de la Secretaría de Salud Departamental del Cauca⁴. El proceso descrito en los pasos anteriores permitió el diseño final de OntoSSR, involucrando los conceptos principales para el diseño de sistemas de información para la SSR (Figura 1).

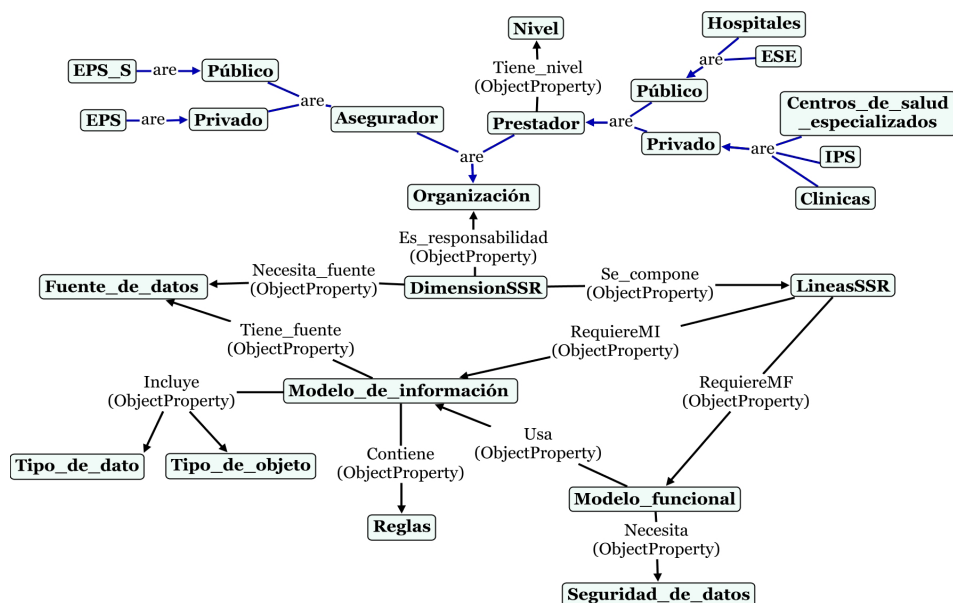
4. Evaluación de la ontología de dominio SSR

OntoSSR fue evaluada mediante dos enfoques. El primero es el esquema para evaluar ontologías únicas propuesto en (Ramos, Núñez, & Casañas, 2009), donde se toman las 3 primeras fases y el segundo a través del juicio de expertos, mediante el método de Focus Group (Kontio, Lehtola, & Bragge, 2004).

² Tabla de facetas de las propiedades, tipos de datos para una propiedad e instancia relacionada, disponible en: <http://bit.ly/2rhSBU1> y <http://bit.ly/2kkRgJ6>.

³ Tabla de instancias, disponible en, define términos específicos de las clases, disponible en <http://bit.ly/2kJL51n>.

⁴ Tabla de modelo de información, variables establecidas para cada una de las líneas SSR, disponible en: <http://bit.ly/2lVUYck>

Figura 1 – Ontología OntoSSR, diseño con Cmaptools de las clases y subclases⁵

4.1. Evaluación de ontologías únicas para el dominio SSR

Fase 1. Uso correcto del lenguaje

Este criterio busca evaluar la codificación de la ontología. Para esta tarea se seleccionó la herramienta Protégé que permite cumplir con los estándares para desarrollo de ontologías en lenguajes como OWL y RDF. OntoSSR cumple con la validación ya que está desarrollada en el lenguaje OWL. Por otro lado, se debe verificar que el código OWL esté libre de errores, para esto se utilizó el evaluador sintáctico de archivos OWL de la universidad de Manchester⁶, que permite validar los archivos en código y estructura OWL, el resultado de la evaluación fue exitoso.

Fase 2. Exactitud de la estructura taxonómica

Esta fase comprende la rigurosidad de la estructura taxonómica, donde se valida si existe redundancia entre clases, si la jerarquía y la relación entre clases está bien definida, y si se encuentran inconsistencias entre los conceptos y la completitud de la ontología. Para mitigar que se presenten este tipo de inconvenientes, se realizó una etapa de análisis y diseño según la metodología utilizada, donde en los ítems 3.1, 3.2, y 3.3 expuestos anteriormente, se garantiza la validez de las clases evitando ambigüedades entre

⁵ Diseño completo de OntoSSR, a nivel de conceptos e instancias, disponible en: <http://bit.ly/2kAyKwy>

⁶ Analizador sintáctico de archivos OWL, disponible en: <http://visualdataweb.de/validator/validate>

conceptos de clases y sus relaciones semánticas, además ayuda a evitar la inconsistencia entre definiciones y propiedades de las instancias.

Por otro lado, se usó la herramienta grafica Cmaptools⁷ que permitió diseñar y visualizar la estructura de las clases, de esta forma se garantiza la estructura jerárquica entre las clases, las cuales representan el conocimiento de dominio SSR. Además, permite establecer las relaciones entre clases de esta manera se diferencia rápidamente el concepto padre del concepto hijo como se muestra en la Figura 1. Esto evita inconsistencias de manera temprana y permite obtener una visión de la ontología de forma gráfica manteniendo el sentido de esta.

Fase 3. Validez del vocabulario

En esta fase se evaluó el corpus que describe el conocimiento en el dominio de SSR, para ello se usaron documentos de la temática de SSR recopilados a través de la RS. Inicialmente se obtuvieron 138 términos relevantes para el corpus, luego se realizó un análisis donde se identificó un glosario con 84 términos para la ontología. De los términos comunes entre el corpus del dominio y la ontología se establecieron un total de 77 términos.

A partir de esta información se realizó el cálculo de la precisión y Recall, para evaluar la calidad de recuperación de la información. La fórmula 1 muestra el cálculo de la precisión.

$$\text{Precision} = \frac{\text{CorpOnto}}{\text{COnTo}} \quad (1)$$

Donde CorpOnto son los términos comunes entre el corpus y la ontología (77) y COnTo es el glosario de términos de la ontología (84). La fórmula 2 muestra el cálculo del Recall o sensibilización de la información:

$$\text{Recall} = \frac{\text{CorpOnto}}{\text{COrpus}} \quad (2)$$

Donde COrpus es la cantidad de términos del dominio (138). Con la fórmula (1) se obtuvo una precisión del 91,6 % indicando el porcentaje de términos de la ontología que existen en el corpus, por lo tanto, es acertado el tema del dominio de SSR. Por otro lado, en la fórmula (2) se obtuvo un Recall del 55,8%, es decir, el porcentaje de términos del corpus que existen en la ontología, este resultado muestra que algunos términos agrupan otros, y son difícil de identificar, por lo cual se hace necesario realizar una evaluación con expertos en la temática para intentar mitigar la ausencia de términos, esta evaluación se realiza a continuación.

4.2. Evaluación por Focus Group

Para la evaluación de la ontología se siguieron los lineamientos definidos en (Mendoza, González-serrano, & Pino, 2013) la cual está orientada a la aplicación de Focus Group en

⁷ CmapTools, herramienta para construcción, navegación y representación del conocimiento a través de mapas conceptuales <https://cmap.ihmc.us/cmaptools/cmaptools-download>

ingeniería del software, siguiendo los pasos descritos a continuación: (i) planeamiento de la investigación, donde se estableció la información y el procedimiento para aplicar en la sesión; (ii) definición de grupos de discusión, para la caracterización y la selección de los participantes; (iii) conducción de la sesión de debate, ejecutando el procedimiento definido con el grupo de discusión; y (iv) análisis de la información y el reporte de resultados a partir de la información y productos de trabajo generados en la sesión de debate. La sesión del Focus Group fue un espacio de interacción con los participantes para presentar y debatir el diseño y utilidad de la ontología. Esta sesión fue realizada en un periodo de 2 horas, en la cual participaron 5 personas expertas: (2) personas que trabajan en la línea de SSR de la Secretaría de salud del Cauca; (2) ingenieros expertos en el diseño de ontologías en diferentes ámbitos; y un ingeniero que da soporte al sistema de información de los programas de SSR en la Secretaría de salud del Cauca.

En la sesión se evaluó la definición de la ontología, su estructura, la información recuperada y su importancia para el desarrollo de SI en el contexto de la SSR. Los resultados obtenidos por parte de los expertos reflejaron aspectos positivos sobre la ontología, entre ellos: ofrece una visión clara y completa de la información necesaria para el desarrollo de sistemas de información en el contexto de la SSR, de acuerdo a las condiciones propias de las entidades encargadas de promover y proveer los programas de SSR en el departamento del Cauca; permite identificar cuáles son las fuentes de información y los tipos de datos requeridos para que estos sistemas se ajusten a los lineamientos definidos por el gobierno nacional; y el modelo funcional establece cuáles son aquellas funcionalidades que debería tener un sistema de información para programas de SSR.

De igual manera, los evaluadores realizaron algunas sugerencias que se consideraron convenientes para ajustar y mejorar la ontología, y garantizar una mayor completitud e idoneidad de la ontología propuesta, entre ellos: que la ontología pueda ser utilizada para otros dominios del sector salud asegurando así su escalabilidad; y también que se incorporen aspectos de seguridad debido a que el tipo de información que se utiliza es confidencial.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas se puede decir que la ontología presenta una definición de aquellos aspectos importantes que contribuyen al desarrollo de sistemas de información para el contexto de SSR y de igual forma la ontología tiene en cuenta características y condiciones propias de las entidades colombianas.

5. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se presentó OntoSSR, una ontología que describe los conceptos necesarios para el desarrollo de SIS ajustado a las condiciones de las organizaciones del sector salud en Colombia. Para llegar a este resultado fue necesario incluir conceptos definidos para el dominio de la SSR y del sector salud en general, el catálogo de catos del SISPRO y el modelo funcional de HL7, de modo que se puedan diseñar sistemas estándar que soporten las necesidades de información y el funcionamiento requerido. Con base en la evaluación realizada se puede afirmar la validez de la ontología, su precisión, su idoneidad y la aceptación por parte de los expertos al reducir problemas de

inconsistencia y ambigüedad en el desarrollo de sistemas de información para el dominio de SSR. Sin embargo, existen aspectos que se pueden mejorar en trabajos futuros, como la redefinición de conceptos para mejorar el Recall obtenido, ampliar mapeo de conceptos con el catálogo de datos y con el modelo funcional, adaptar la ontología a un modelo guiado para su aplicación, como un framework o una metodología de aplicación. Finalmente, teniendo en cuenta las observaciones de los expertos se plantea la posibilidad de escalar la ontología a otros dominios y en términos de usabilidad desarrollar una solución que guíe al usuario en el diseño colaborativo de sistemas de información estandarizados y funcionales.

Referencias

- Azarm, M., Ave, K. E., Peyton, L., & Ave, K. E. (2018). An Ontology for a Patient-Centric Healthcare Interoperability Framework. *2018 IEEE/ACM International Workshop on Software Engineering in Healthcare Systems (SEHS)*, 34–41.
- Campbell, D., & Pereira, E. (2016). A novel ontology-based approach to personalised mHealth application development. *Proceedings of 2016 SAI Computing Conference, SAI 2016*, 985–989. <https://doi.org/10.1109/SAI.2016.7556099>
- Cedeno-Moreno, D., & Vargas-Lombardo, M. (2018). An ontology-based knowledge methodology in the medical domain in the Latin america: The study case of republic of Panama. *Acta Informatica Medica*, 26(2), 98–101. <https://doi.org/10.5455/aim.2018.26.98-101>
- Congreso de Colombia. (2011). Ley 1438. Retrieved November 7, 2019, from Congreso de Colombia website: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY_1438_DE_2011.pdf
- Decision, C., Work, S., & Pat, U. S. (2018). *HL7 Version 3 Standard : Virtual Medical Record for Clinical Decision Support (vMR-CDS) Logical Model , Release 2 September 2018*.
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2012). Decreto 0019. Retrieved November 7, 2019, from Normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública website: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2012/Documents/Enero/10/Dec1910012012.pdf>
- Gobernación del Cauca. (2019). Secretaría de Salud del Cauca. Retrieved November 6, 2019, from <https://saludcauca.gov.co/>
- Gruber, T. (1993). *Gruber-Thomas-a-Translation-Approach to Portable Ontology-Specifications*. 1–22.
- Gutiérrez, C. (2018). *El sistema de salud colombiano en las próximas décadas: cómo avanzar hacia la sostenibilidad y la calidad en la atención*. Retrieved from https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/archivosciadernos/CDF_No_60_Marzo_2018.pdf

- H. Castrillon, L. Erazo, F. Obando, E. G. (2018). Framework para el desarrollo de Sistemas de Información como herramienta de soporte para los programas de Salud Sexual y Reproductiva. *Frame - SIS*.
- HL7. (2015). HL7 EHR-System Functional Model, R2. Retrieved November 7, 2019, from https://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=269
- Kontio, J., Lehtola, L., & Bragge, J. (2004). Using the Focus Group Method in Software Engineering : Obtaining Practitioner and User Experiences. *Proceedings. 2004 International Symposium on Empirical Software Engineering*, (May 2014), 271–280. <https://doi.org/10.1109/ISESE.2004.1334914>
- Lozano-Rubí, R., Muñoz Carrero, A., Serrano Balazote, P., & Pastor, X. (2016). OntoCR: A CEN/ISO-13606 clinical repository based on ontologies. *Journal of Biomedical Informatics*, 60, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.02.007>
- Marañón C, T., Mastrapa C, K., Flores, Y., Vaillant, L., & Landazuri, S. (2017). Prevención y control del cáncer de cuello uterino. *Correo Científico Médico*, Vol. 21, pp. 187–203.
- Mendoza-moreno, M., González-serrano, C., & Pino, F. J. (2013). *Focus Group Como Proceso En Ingeniería De Software: Una Experiencia Desde La Práctica*. (1), 51–60.
- Mezghani, E., Silveira, M. Da, Pruski, C., Exposito, E., & Drira, K. (2016). An Ontology-driven Adaptive System for the Patient Treatment Management. *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2016*, 329–332. <https://doi.org/10.18293/seke2016-155>
- Ministerio de Salud. (2008). Resolución 1973 de 2008. Retrieved November 7, 2019, from Planificación familiar y métodos anticonceptivos website: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1973-2008.pdf>
- Ministerio de Salud. (2013). *Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021*. Retrieved November 7, 2019 from <http://www.saludcapital.gov.co/DPYS/Documents/PlanDecenaldeSaludPública.pdf>
- Ministerio de salud. (2000). Resolución 3374 de 2000. *Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud.*, 2000(44), 1–26. Retrieved November 7, 2019 from <https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R3374000.pdf>
- Ministerio de Salud. (2002). Decreto Número 1637 de 2006. *Registro Único de Afiliados*, 1–5.
- Ministerio de Salud. (2006). Decreto Número 3518 de 2006. *Sistema de Vigilancia En Salud, 2006*(Octubre 09), 1–17. Retrieved November 7, 2019 from https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO_3518_DE_2006.pdf
- Ministerio de Salud. (2012). Dimensión derechos sexuales y reproductivos. *Ministerios de Salud.*, 1–13. Retrieved November 7, 2019 from <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/Dimension-sexualidad-derechos-sexuales-reproductivos.pdf>

- Ministerio de Salud. (2015a). Garantizar la atención segura de la gestante y el recién nacido. *Ministerio de Salud*, 1–117. Retrieved November 7, 2019 from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Garantizar-atencion-segura-madre-hijo.pdf>
- Ministerio de Salud. (2015b). Interrupción voluntaria del embarazo, un derecho humano de las mujeres. *Ministerio de Salud*, 1–11. Retrieved November 7, 2019 from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/abc-maternidad-elegida.pdf>
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2000). *Ontology Development 101 : A Guide to Creating Your First Ontology*. 1–25.
- Pozza, G., Borgo, S., Oltramari, A., Contalbrigo, L., & Marangon, S. (2016). Information and organization in public health institutes: An ontology-based modeling of the entities in the reception-analysis-report phases. *Journal of Biomedical Semantics*, 7(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13326-016-0095-8>
- Ramos, E., Núñez, H., & Casañas, R. (2009). Esquema para evaluar ontologías únicas para un dominio de conocimiento. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 6(1), 57–72.
- Roberto Vázquez Campuzano. (2016). Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH). *Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM)*, p. 3.
- World Health Organisation. (2019). ITS. 1–3. Retrieved from https://www.who.int/topics/sexually_transmitted_infections/es/
- Yepes, C. E., & Marín, Y. A. (2018). The challenges of health situation analysis in Colombia. *Biomedica*, 38(2), 162–172. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3594>
- Zhang, Y. F., Gou, L., Tian, Y., Li, T. C., Zhang, M., & Li, J. S. (2016). Design and Development of a Sharable Clinical Decision Support System Based on a Semantic Web Service Framework. *Journal of Medical Systems*, 40(5). <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0472-y>

Prototipos de Lenguaje de Dominio Específico para consulta de configuraciones de dispositivos en redes como estándar basado en Ingeniería Dirigida por Modelos

Franklin Guillermo Montenegro Marin¹, Karen Eliana Angarita Casas², Daniel Felipe Garzón Triana³, Carlos Enrique Montenegro-Marin⁴, Paulo Alonso Gaona García⁵

fmontenegro@ucundinamarca.edu.co, kareneangarita@gmail.com, dangto521@gmail.com, cemontenegrom@udistrital.edu.co, pagaonag@udistrital.edu.co

¹ Universidad de Cundinamarca, Bogotá, Colombia.

² Fundación Universidad Internacional de la Rioja, Bogotá, Colombia.

³ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

⁴ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

⁵ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Pages: 572–585

Resumen: El establecimiento de redes requiere del conocimiento de las configuraciones necesarias de los dispositivos de redes pertenecientes a ellas. La búsqueda de estas configuraciones resulta ser una tarea tediosa y repetitiva debido a la gran cantidad de configuraciones existentes. La ingeniería dirigida por modelos (MDE) permite crear soluciones a este problema, automatizando estas tareas. Este documento presenta el desarrollo de dos lenguajes de dominio específico (DSL) basadas en MDE, uno gráfico: CNPGraph, y uno textual: CNPText como propuesta de solución al problema.

Palabras-clave: DSL; MDE; Protocolo de red; SIRIUS; XText.

Specific Domain Language Prototypes for querying device configurations in networks as standard based on Model Directed Engineering

Abstract: Networking requires knowledge of the necessary configurations of the network devices belonging to them. The search for these configurations turns out to be a tedious and repetitive task due to the large number of existing configurations. Model-driven engineering (MDE) allows you to create solutions to this problem, automating these tasks. This document presents the development of two specific domain languages (DSL) based on MDE, one graphic: CNPGraph, and one textual: CNPText as a solution to the problem.

Keywords: teacher digital competences; open educational resources; factor analysis; construct validity; variance analysis.

1. Introducción

Desde los inicios de la informática, los expertos, desarrolladores e investigadores de software han creado abstracciones para programar en términos de su diseño con la finalidad de brindar facilidades a tareas comunes o de alta complejidad.

Así mismo, en el mundo de las redes de telecomunicaciones, al pasar de los años, también se han creado herramientas para simular y crear redes de telecomunicaciones con diferentes protocolos y escenarios. Una de las herramientas más conocidas para esta tarea es PacketTracer®, el simulador para redes Cisco. Siendo una de las más poderosas herramientas en el área, PacketTracer® permite simular cientos de protocolos sobre los dispositivos de red, cada uno con su determinada configuración. No es nada fácil aprender las configuraciones de todos los protocolos necesarios para routers, switches o servidores que vayan a ser utilizados en la red, es una tarea que requiere de mucho tiempo y recursos. Ahora, esto sucede únicamente con Cisco, pero ¿qué pasa si se desean simular los mismos protocolos, pero en dispositivos de diferente fabricante tales como Linksys o Mikrotik? Resulta ser una tarea agotadora.

Este es un típico problema que puede ser resuelto mediante la ingeniería dirigida por modelos, a pesar que existen herramientas basadas en MDE para representar topologías de red, como es el caso de los simuladores virtuales de Cisco, no existe una herramienta para las consultas de protocolos de red. La propuesta en este documento es la creación de dos prototipos de lenguajes de programación de dominio específico, uno textual y uno gráfico, que sirvan para la consulta de la configuración de protocolos de red para fabricantes diferentes, cada uno con sus características propias (IP, interfaces, entre otros), ahorrando así el tiempo de aprendizaje de estas configuraciones.

En el capítulo 1 se encuentra un breve recorrido sobre los trabajos anteriores en el campo de los lenguajes de dominio específico, en el capítulo 2 se hace una definición de conceptos necesarios para el entendimiento del contenido del documento. En el capítulo 3 se describe la elaboración y funcionamiento de las herramientas, en los capítulos 4 y 5 se realizan las pruebas y validación de las herramientas para finalizar en los capítulos 6 y 7 con tareas futuras y conclusiones del trabajo realizado.

2. Aplicaciones de los Lenguajes de Dominio Especifico

Los lenguajes de dominio específico pueden ser considerados como argumentos escritos en un lenguaje de programación más general. El lenguaje de programación “real” ejecuta el parser sobre el código del DSL, para luego trabajar sobre él. Generalmente, las funciones del DSL sólo se centran en lo que se quiere hacer, y el sistema más grande resuelve el cómo hacerlo.

Son muchos los lenguajes de dominio específico (DSL) existentes actualmente, suficiente como para cubrir gran parte de las aplicaciones que se puedan necesitar. Los DSL más populares incluyen todos los lenguajes de consulta (query), todos los lenguajes plantilla, Shell scripts, lenguajes de almacenamiento e intercambio de datos como XML, o lenguajes para documentos como LaTeX, CSS o HTML. [1].

3. ingeniería Dirigida por Modelos (MDE):

La Ingeniería Dirigida por Modelos o MDE por sus siglas en inglés (*Model Driven Engineering*) es una metodología para el desarrollo de software, centrada en la creación de modelos de dominio, es decir, representaciones abstractas del modelo a construir. Se habla de dominios en lugar de algoritmos. Todas las formas de ingeniería existentes están basadas en la abstracción de un modelo del mundo real, en otras palabras, en el modelado de diseño de sistemas del mundo real. La importancia de los modelos en el desarrollo y diseño de software va desde su utilidad para el entendimiento de los aspectos físicos del sistema, de las características del sistema, impactos y riesgos, hasta la comunicación e integración de las características del sistema con las partes interesadas. MDE nace de la necesidad de separar la lógica del negocio y la tecnología usada. [2]

a. Arquitectura dirigida por modelos

La Arquitectura Dirigida por Modelos es una familia de estándares propuesta por la OMG (*Object Management Group*) con el fin de establecer una guía para el desarrollo de software separándolo en diferentes niveles de abstracción, conectados entre sí por medio de modelos o artefactos. Así, existe un modelo para cada nivel de abstracción el cual es tomado como guía para el siguiente nivel. [3]

La OMG propone cuatro niveles de abstracción, la arquitectura en cuatro capas [4]:

- **M3 Meta-metamodelo:** también llamado MOF por sus siglas en inglés (*Meta Object Facility*) es un lenguaje abstracto y autodefinido el cual unifica cada paso del desarrollo e integración del modelo del negocio, a través de modelado de aplicaciones y arquitectural para el desarrollar, mantener y evolucionar. MOF incluye una familia de especificaciones para manejar el ciclo de vida e intercambio de los modelos. MOF ofrece estándares que proveen especificaciones de cómo importar o exportar modelos desde varios formatos textuales. [5]
- **M2 Metamodelo:** contiene los estándares definidos por el usuario en el Meta-metamodelo. [6]
- **M1 Modelo:** abstracción del mundo real, es lo que se busca diseñar. Contiene los conceptos que son representados por un metamodelo.
- **Mo Realidad:** Hace referencia a lo que se planea modelar, es decir, al mundo real.

b. DSL

Un Lenguaje de Dominio Específico o DSL por sus siglas en inglés (*Domain Specific Language*) es un lenguaje de computación especializado en un dominio de aplicación en particular. Es lo contrario a un Lenguaje de Propósito General (GPL – *General Purpose Language*), el cual es aplicado a varios dominios. Los DSL son muy comunes, siendo el más popular HTML para la creación de páginas web o SQL utilizado para las consultas y transacciones en las bases de datos. Existen dos tipos de DSL, los gráficos y los textuales. [7]

- **DSL Textual:** Son lenguajes de dominio específico formados a partir de un conjunto ordenado de sentencias, como casi todos los programas de programación, como JAVA o Python (estos dos no son DSL pero son lenguajes textuales). HTML es un DSL textual. Para crear lenguajes de dominio específico

textuales es necesario crear la gramática que va a ser utilizada en el lenguaje y luego crear un parser sobre la gramática para la generación de código. [8]

- **DSL Gráfico:** Son lenguajes de dominio específico que a diferencia de los DSL textuales, no usan código. Se basan en entidades (figuras) y relaciones, un ejemplo de un DSL gráfico es UML. [9]

c. Protocolos de Red

Un protocolo de red es un conjunto de reglas necesarias para permitir a dos o más procesos computacionales comunicarse entre sí. Estos procesos pueden ser ejecutados en el mismo equipo o en diferentes dispositivos conectados por diferentes tipos de redes. Estos procesos separan los procesos del sistema operativo, ejecutando diferentes programas, o pueden ser procesos virtuales, o partes modulares de un solo programa. Siempre van a existir dos o más procesos y deben ser comunicados entre sí. [10]

Las reglas describen el cálculo que cada uno de los procesos debe hacer con el fin de enviar el mensaje que contenga los valores correctos en el tiempo adecuado. Estas reglas pueden ser ejecutadas tanto por software como por hardware, o por una combinación de los dos. Así como los lenguajes de programación describen cálculos, los protocolos describen las comunicaciones, “los protocolos son a las comunicaciones como los lenguajes de comunicación son a los cómputos.” [11]

4. Herramientas de la Ingeniería Dirigida por Modelos (MDE) y los Lenguajes de Dominio Específico (DSL)

Aprender las configuraciones de los protocolos de red para establecer comunicaciones por medio de routers y switches no es una tarea sencilla, existen cientos de protocolos en donde cada uno presenta características diferentes, y en donde además cada configuración de cualquier protocolo varía según la marca del dispositivo en donde se esté ejecutando. A medida que el número de configuraciones aumenta, la tarea de aprendizaje se torna más difícil y tediosa, tomando cada vez más tiempo y recursos, volviéndola una tarea repetitiva. Para dar una solución a este problema, en este documento se propone la creación de dos lenguajes de programación de dominio específico (DSL) basados en ingeniería dirigida por modelos (MDE). La creación de dos herramientas en lugar de una es definida por la naturaleza de los DSL, por la facilidad y preferencias de uso de aquellos interesados en utilizar las herramientas. Es por eso que se crea una herramienta gráfica, por un lado, y un lenguaje de programación más convencional, del tipo textual, por el otro.

Para la elaboración de los dos prototipos, se definieron los mismos protocolos y los mismos fabricantes para hacer una comparación objetiva de los resultados arrojados por ambas herramientas. La cantidad de protocolos y marcas usadas por las herramientas puede incrementar a medida que en el proceso de desarrollo se vayan agregando, los dos DSL cumplen con el principio abierto cerrado (OCP) [12]. Para el caso de las pruebas, se definieron los protocolos NAT [12], STP [14] y 802.1Q [15], dado su grado de complejidad de aprendizaje frente a protocolos de enrutamiento más populares tales como RIP [16] u OSPF [17], configurados sobre dispositivos de fabricantes Cisco [18], Mikrotik [19] y Linksys [20], debido a las fuertes diferencias presentadas en los formatos de configuración entre uno y otro.

El objetivo principal de las dos herramientas es reducir el tiempo de búsqueda y aprendizaje de los protocolos de red, así como los recursos necesarios para realizar dichas actividades. Para esto, las herramientas generan, cada una, un documento con las configuraciones requeridas por el usuario para routers y otro documento con las configuraciones requeridas para switches. Para tener la certeza de que las configuraciones arrojadas por las herramientas son correctas, posterior en el documento se enseñan pruebas del uso de estas configuraciones sobre simuladores virtuales.

a. CNPGraph

CNPGraph es el nombre de la herramienta MDE con sintaxis gráfica propuesta en este documento. Está creada con SIRIUS y está basada en EMF [21] y GMF [22]. SIRIUS es un generador mediante el cual se definen editores gráficos, puntos de vista de diagramas, tablas y árboles [23]. SIRIUS se define como el lenguaje de creación de CNPGraph dado que permite un alto nivel de personalización y permite evaluar los cambios en tiempo real.

La solución del problema por medio de CNPGraph inicia con la creación de la herramienta y sus posteriores pruebas, una vez que el funcionamiento de la herramienta sea acertado se procede a generar el documento con las configuraciones de los protocolos de red. Sobre estas configuraciones se realizan pruebas para corroborar que la información es verídica, de no ser así, se modifica la herramienta con las respectivas correcciones.

El modelo de las EClases, mostrado en la Ilustración 1, nace de la abstracción del problema de los tiempos necesarios para el aprendizaje de un indeterminado número de configuraciones de protocolos de red sobre dispositivos de fabricante diferente. En donde el usuario puede tener cualquier cantidad de dispositivos, en el caso de la herramienta cualquier cantidad de routers y switches, cualquier cantidad de protocolos, y cualquier cantidad de marcas. Además, los routers y switches, dependiendo del modelo, varían la cantidad de interfaces que puedan tener. Una configuración depende estrictamente del protocolo aplicado sobre el dispositivo de cierta marca y en ocasiones, de las interfaces o puertos que tenga el dispositivo.

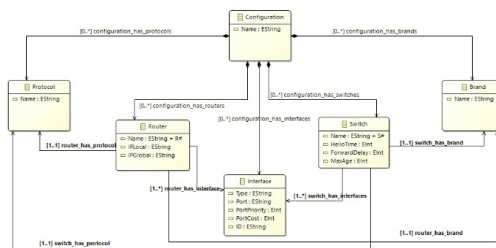


Ilustración 1 – Diagrama de EClases - CNPGraph

Una vez definidas las entidades, fue necesario definir los atributos de cada una y las relaciones existentes entre ellas. Para el caso de *Configuration*, *Protocol* y *Brand*, su único atributo es Nombre, siendo este una cadena de caracteres. Los routers, además de tener un nombre como todos los demás (se sugiere que siga el formato ‘R’ acompañado de un número), tiene dos IPs, una global y una local. Los switches, siguen el formato de

los routers con el nombre, con la diferencia que cambia la ‘R’ por una ‘S’, además los switches tienen como atributos los tiempos *Hello*, *Forward Delay* y *Max age*, todos del tipo entero. Finalmente, las interfaces tienen como atributos las características de los puertos que puedan tener los routers y switches; el tipo de puerto (serial, fast, giga, ...), el número del puerto (0/0, 1/0/1, por ejemplo), un ID, y el costo y prioridad del puerto. En cuanto a las relaciones, se definió que una configuración está compuesta por las demás entidades, los routers y los switches, cada uno, tiene un solo protocolo y una sola marca, mientras que sí pueden tener una o más interfaces. Teniendo el diagrama de Eclases se pasa a crear el modelo de dominio definido, es decir, el .ecore.

Este .ecore es una representación del diagrama de Eclases a manera de árbol. Los dos elementos son iguales (mismas entidades, atributos y relaciones). Es necesario crear un modelo de generación de código .genmodel, este modelo está basado en el .ecore. El nuevo modelo contiene toda la información del modelo y su generación.

Este es la base del plug-in, es decir de CNPGraph. Se crea un nuevo proyecto, y en él un nuevo modelo que tenga las características definidas anteriormente en el proyecto EMF. Se crea el metamodelo en este proyecto, en donde se definen los elementos por defecto con propiedades específicas y relaciones definidas que presenta la herramienta.

SIRIUS es utilizado para crear el *Viewpoint* del metamodelo. En el nuevo proyecto SIRIUS es necesario agregar las dependencias del proyecto del metamodelo para definir el *Viewpoint* sobre el mismo. El *Viewpoint* define un conjunto de representaciones; diagramas, tablas o árboles. En este caso, el *Viewpoint* define un diagrama. Antes de crear el diagrama se definen las propiedades del ID y de la extensión que se le va a asignar al modelo. Se agrega una representación del tipo diagrama y se establece la clase dominio, es la clase de la que hereda o la que está representando. Por medio de layers, SIRIUS muestra los elementos relevantes del diagrama, como los nodos y relaciones. SIRIUS permite crear las representaciones de los elementos que hacen parte del metamodelo, ya sean figuras geométricas básicas, o imágenes definidas por el desarrollador. Además de las representaciones, por medio de SIRIUS es posible establecer herramientas de creación de nodos y relaciones, con el fin de que el usuario pueda agregar routers y switches para el caso de CNPGraph. Por último, es necesario agregar el *Viewpoint* al proyecto para que tome las características definidas con el generador de editores gráficos. Una vez definidas todas las características, representaciones, herramientas y relaciones, el DSL está terminado. CNPGraph se ve como en la Ilustración 2.

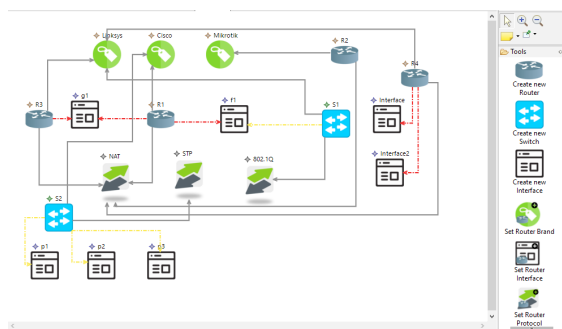


Ilustración 2 – Vista funcional de CNPGraph

La herramienta permite crear routers, switches, e interfaces a los cuales se les asigna un protocolo de red y una marca de fabricante establecidos anteriormente en el metamodelo. En el ejemplo, el Router R1 tiene como marca a Cisco y como protocolo a NAT. Para la consulta de las configuraciones, en la herramienta se creó un proyecto ACCELEO para convertir el modelo en texto mediante plantillas. Routers.txt y Switches.txt con las configuraciones de los Routers y Switches definidos en el *Viewpoint*.

b. CNPText

CNPText es el nombre de la herramienta MDE con sintaxis textual propuesta en este documento. Está creada con Xtext [24]. Xtext genera varios artefactos automáticamente a partir de una gramática en Extended Backus- Naur Form o EBNF. Para la creación de la herramienta se utiliza un parser [25], un metamodelo Ecore y un IDE para Eclipse.

El proceso de la solución del problema usando CNPText es el mismo utilizado con CNPGraph, se inicia con la creación de la herramienta, se realizan pruebas de funcionalidad y de generación de los archivos con las configuraciones de los protocolos de red. Estas configuraciones también son puestas a prueba, y en caso de no ser las correctas, se realizan las correcciones necesarias para que lo sean.

Se crea la gramática del lenguaje, es decir, el conjunto de palabras reservadas que pueden ser utilizadas para desarrollar utilizando CNPText. La herramienta ofrece un conjunto de plantillas y de ayudas para facilitar el aprendizaje y uso de la herramienta. El formato de la gramática es bastante básico, se inicia haciendo uso de la palabra reservada ‘Tipo’ acompañada de ‘Router’ o ‘Switch’, dependiendo de cuál dispositivo se va a configurar. Después mediante la palabra ‘código’ se define el código del dispositivo (ej. R1, S2), ‘marca’ para definir cualquiera de las marcas definidas en la lista de la gramática, y ‘protocolo’ seguido de la selección del protocolo que se desee configurar. Ese es el formato base de las configuraciones. Debido a que cada fabricante presenta propiedades y atributos diferentes para cada protocolo, es necesario definir estas características después de haber seleccionado el protocolo. Para esto, CNPText ofrece un asistente para guiar al usuario con la programación y el código necesario para definirlos. La gramática es creada en un archivo .xtext.

De esta gramática se genera el metamodelo, un archivo .ecore que contiene las entidades, atributos y relaciones utilizadas en la herramienta. Al igual que en la herramienta gráfica, se necesita un modelo generador de código, basado en el metamodelo, un .genmodel.

Después de establecer, mediante Xtext, las validaciones de la gramática, reglas de formato, de colores, de interfaz, de personalización, plantillas de ayuda y generación de texto, se generó el plug-in de la herramienta para poder ser usada.

Como un plug-in de Eclipse, la herramienta puede ser utilizada para programar el tipo de dispositivo, protocolos, marcas y características de cada uno. Toda configuración es vista desde el outline del IDE a manera de guía.

Finalmente, CNPText genera automáticamente dos archivos con las configuraciones de los routers y switches programados por el usuario; Routers.txt con las configuraciones de los routers y Switches.txt (con las configuraciones de los switches).

5. Pruebas

Los artefactos de software generados por ambos prototipos (CNPGraph y CNPText) son documentos de texto con un directorio de configuraciones de los routers y switches definidos con las herramientas. Como escenario de prueba, en las dos herramientas se definieron routers de marcas Cisco, Mikrotik y Linksys para el protocolo NAT y Switches de marca Cisco para el protocolo STP.

En el caso de los routers, el único fabricante que cuenta con un simulador virtual para probar las configuraciones de red es Cisco. Cisco cuenta con Packet Tracer® [26], por lo que inicialmente las pruebas se realizaron para este fabricante.

Por medio de Packet Tracer® se creó una red pequeña para probar el protocolo NAT. Se definieron como IPs de red privada 192.100.0.0 y como de red pública 10.0.0.0/30 y como protocolo de enrutamiento se utilizó RIP.

Al enviar paquetes de un computador al servidor, la comunicación fue un éxito. Sin embargo, al mirar al detalle los paquetes enviados, aparecía como origen la red privada y no la red pública.

Esto representa graves problemas de seguridad, debido a la alta vulnerabilidad existente al revelar la red privada del usuario. El protocolo NAT realiza el cambio de la red privada a la pública para solucionar este problema. Se estableció el protocolo con la configuración dada por CNPGraph y CNPText.

Nuevamente, se estableció comunicación de un computador al servidor para verificar que el cambio de direcciones haya resultado. Efectivamente el cambio fue un éxito, al mirar en detalle el mensaje enviado se logró ver que el origen provenía de una red pública y no de la red privada del usuario. La configuración dada por los DSL CNPGraph y CNPText funciona.

Como se dijo anteriormente, Cisco es el único fabricante con simulador virtual para las pruebas, por lo que para los fabricantes Mikrotik y Linksys se hace una comparación con los manuales oficiales de la configuración del protocolo NAT, disponibles en la web. En el caso de Mikrotik, la configuración se encuentra disponible en la página de documentación del fabricante, en el Manual: IP/Firewall/NAT [27]

Para el caso de Linksys, sus routers trabajan bajo el *firewall* DD-WRT, por lo que la documentación de la configuración del protocolo no se encuentra en los manuales de Linksys sino en los de DDWRT. La configuración se encuentra disponible en los tutoriales básicos de DD-WRT en el documento *One-To-One* NAT [28]. La documentación de DD-WRT presenta como ejemplo una de las muchas configuraciones posibles para NAT mediante IPTABLES, alternando el uso de los comandos. Las herramientas CNPGraph y CNPText no utilizan la configuración de ejemplo, pero sí el formato guía, como se ve en la Ilustración 3.

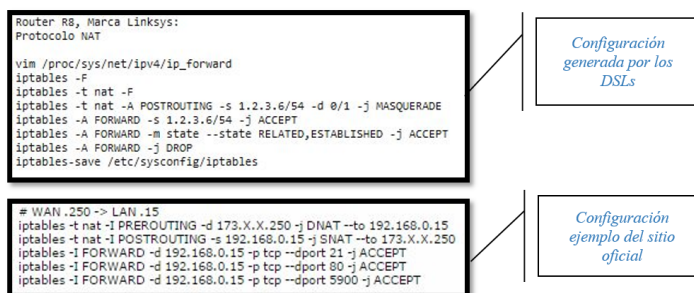


Ilustración 3 – Comparación de configuraciones NAT/DDWRT/Linksys

En el caso de los switches, usando Packet Tracer® se creó una red de 10 switches para crear bucles y poder simular el protocolo STP (*Spanning Tree Protocol*).

Packet Tracer® por defecto ejecuta el protocolo y rompe esos ciclos, como se observa en los puntos color naranja, así representa un ciclo roto. STP permite cambiar el switch raíz y además cambiar los tiempos y prioridades de los puertos.

Mirando la configuración del switch raíz, en este caso el switch 4 se tienen “*Hello time*”: 2, “*Max age*”: 10 y “*Forward delay*”: 15 sec.

Aplicando la configuración generada por las herramientas CNPGraph y CNPText, , las propiedades del switch 4 cambiaron a “*Hello time*”: 3 “*Max age*”: 25 y “*Forward delay*”: 20 sec a deseo del usuario. Comprobando esto que las configuraciones otorgadas por las herramientas DSL funcionan.

6. Validación

El proceso de validación de las herramientas consiste en la comparación de tiempos empleados en la solución de un mismo escenario problema, usando CNPGraph, CNPText y búsqueda manual. Un mismo problema debe ser resuelto mediante los tres métodos mencionados y en cada método, realizar la toma de tiempos empleados para una posterior comparación de registros.

Para validar las herramientas, se tomó una muestra de 2 personas sobre un grupo de 10 expertos en el área de seguridad en telecomunicaciones y protección de marca, de la empresa “*Authentic Vision*” [29]; Los dos expertos realizaron dos grupos de pruebas para la validación, el primer grupo consistía en aprender 2 protocolos de red sobre 3 fabricantes diferentes de forma manual, investigando por su propia cuenta y después usando las herramientas CNPGraph y CNPText. El segundo grupo consistía en aprender 15 protocolos de red sobre 5 dispositivos de diferente fabricante, al igual que para el grupo 1, una prueba a manera manual y la otra usando los DSLs creados para el proyecto.

Para cada prueba se tomaron los tiempos de aprendizaje y testimonios en cuanto a la facilidad de acceso a la información. Una vez finalizadas las actividades, los resultados se representaron en las Ilustraciones 4 y 5.

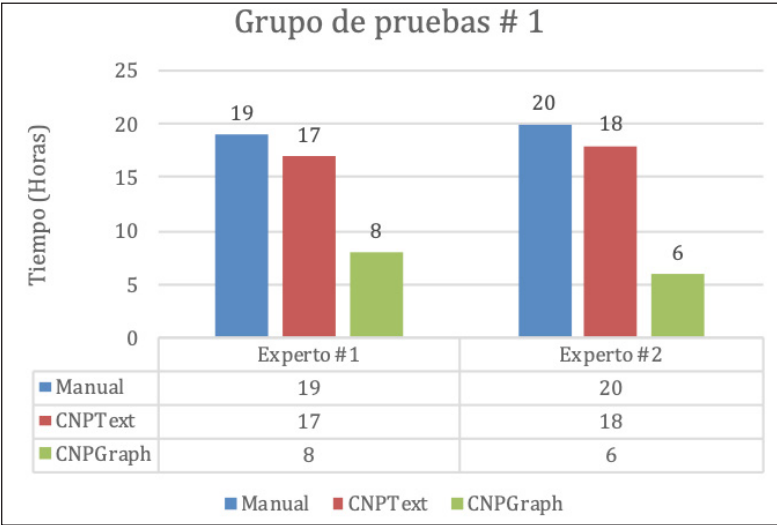


Ilustración 4 – Resultados grupo de pruebas #1

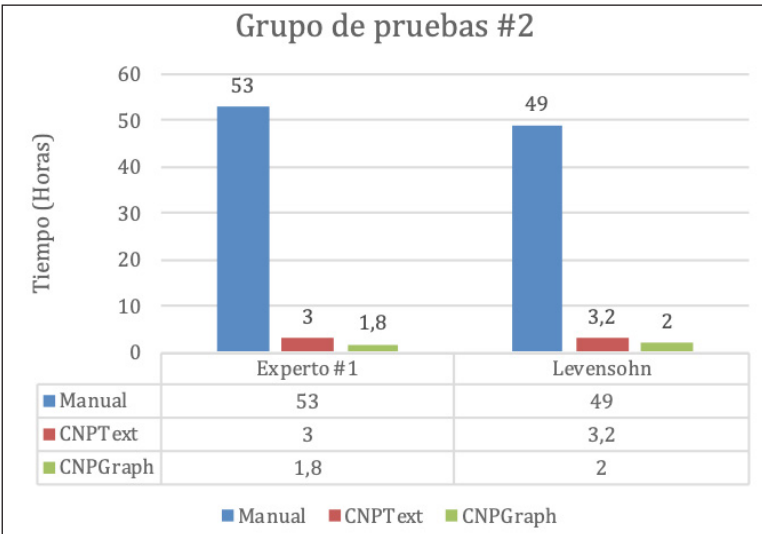


Ilustración 5 – Resultados grupo de pruebas #2

Los resultados del grupo de pruebas número uno, demuestran que, para un número de configuraciones pequeños, el uso de la herramienta textual, sumado el tiempo de aprendizaje, no difiere sustancialmente en el tiempo utilizado en el proceso de búsqueda manual, reduce el tiempo de búsqueda aproximadamente en un 10%. Por el otro lado, el uso de la herramienta gráfica, sumado el tiempo de aprendizaje, reduce entre el 60 y 70 % el tiempo necesario para conocer las configuraciones de los protocolos de red sobre routers y switches, frente al tiempo utilizado en el proceso de búsqueda manual, siendo CNPGraph la mejor alternativa para solucionar el problema.

Los resultados del grupo de pruebas número dos, en donde el escenario problema presenta una gran cantidad de configuraciones, varía en los tiempos de comparación, debido a que ya no es necesario sumar el tiempo de aprendizaje, sirviendo como escenario en donde el usuario conoce cómo funcionan las herramientas. Haciendo uso de CNPText, el tiempo empleado para solucionar el problema es apenas un 6% aproximadamente del tiempo gastado realizando las búsquedas de manera manual. Mientras que usando CNPGraph el tiempo se reduce en un 96% frente al tiempo de búsqueda manual, continuando como la herramienta más cómoda y rápida de las tres. Los tiempos de solución brindados por CNPText y CNPGraph son bastantes similares una vez se conoce cómo utilizar las herramientas, en caso contrario, CNPGraph resulta ser mejor opción gracias a su naturaleza deductiva, reduciendo los tiempos de aprendizaje.

7. Trabajo Futuro

La característica principal, tanto de CNPGraph como de CNPText, es la posibilidad de ampliación del número de protocolos y marcas de fabricantes de los routers y switches. Está proyectado, además de continuar agregando más protocolos y marcas, añadir nuevos dispositivos de red diferentes a routers y switches, con el fin de conocer toda la configuración necesaria para establecer cualquier tipo de red. Por otro lado, en un futuro se evaluará la posibilidad de cambiar el formato de los documentos generados con las configuraciones, con el fin de crear archivos con el formato que el dispositivo reciba como entrada, para transformar CNPText y CNPGraph en herramientas no sólo de consulta, sino de configuración directa.

8. Conclusiones

CNPGraph es una herramienta sencilla, de poco tiempo de aprendizaje ya que su naturaleza gráfica la hace deductiva. CNPText es una herramienta de fácil aprendizaje también, aunque de mayor complejidad que su hermana CNPGraph debido a que es necesario aprender el código y sintaxis de este lenguaje de programación.

Para un número menor a 10 configuraciones, el tiempo de aprendizaje de los protocolos de red utilizando las herramientas CNPGraph y CNPText es muy similar al tiempo de aprendizaje de manera manual mediante investigaciones propias. A medida que el número de configuraciones sea mayor, el tiempo de aprendizaje para la consulta de los protocolos de red utilizando las herramientas CNPGraph y CNPText es significativamente menor que el tiempo necesario para aprender este tipo de configuraciones de manera

manual. CNPText y CNPGraph no son herramientas para configurar dispositivos de red, son herramientas para la consulta de las configuraciones de protocolos de red para ser aplicados sobre los dispositivos mediante el uso de otras herramientas. Este documento a numerado una serie de tareas que deben ser llevadas a cabo a futuro. La ingeniería dirigida por modelos permite simplificar procesos repetitivos de código, reduciendo tiempos y recursos necesarios para llevar a cabo dichos procesos. Además, gracias al uso de modelos independientes de plataformas, el desarrollador deja a un lado la preocupación por los detalles y por las diferencias entre un lenguaje y otro, ya que por medio de MDA, es posible transformar un proyecto de un lenguaje a otro.

Referencias

- Iris Reinhartz-Berger, Arnon Sturm , Tony Clark, Sholom Cohen, Jorn Bettin. (2013). Domain-Specific Languages and Standardization: Friends or Foes?. In Domain Engineering. Part II, pp. 159-186. Berlin: Springer.
- Joachim Fischer, Markus Scheidgen, Ina Schieferdecker, Rick Reed. (2015). SDL: Model-Driven Engineering for Smart Cities. Switzerland: Springer International Publishing.
- Marco Bernardo, Vittorio Cortellessa, Alfonso Pierantonio. (2012). MDE Basics with a DSL Focus. In Formal Methods for Model-Driven Engineering, pp. 21-57. Berlin: Springer.
- Oscar Pastor, Juan Carlos Molina. (2007). The Need for New Development Environments. In Model-Driven Architecture in Practice, pp. 13-18. Berlin: Springer.
- Liming Zhu. (2011). Model-Driven Architecture. En Essential Software Architecture, pp. 201-217. Berlin: Springer.
- Object Management Group, Inc.. (2003). MDA - The Architecture Of Choice For A Changing World. 2016, from OMG Sitio web: <http://www.omg.org/mda/>
- Walid Mohamed Taha. (2009). Domain-Specific Languages. Berlin: Springer.
- Antonio Vallecillo, Juha-Pekka Tolvanen, Ekkart Kindler, Harald Störrle, Dimitris Kolovos. (2012). Domain-Specific Textual Meta-Modelling Languages for Model Driven Engineering. En Modelling Foundations and Applications, pp.259-274. Berlin: Springer.
- Marco Bernardo, Vittorio Cortellessa, Alfonso Pierantonio. (2012). Graph Transformations for MDE, Adaptation, and Models at Runtime. En Formal Methods for Model-Driven Engineering, pp.137-191. Berlin: Springer.
- John Cowley. (2013). Network Protocols. En Communications and Networking, pp.81-109. London: Springer.
- Comer (2000). Sect. 11.2 - The Need For Multiple Protocols, p. 177, "They (protocols) are to communication what programming languages are to computation"

- Barbara Pernici. (2010). On the Semantics of the Extend Relationship in Use Case Models: Open-Closed Principle or Clairvoyance?. In *Advanced Information Systems Engineering*, pp.409-423. Berlin: Springer.
- Deep Medhi, José Marcos Nogueira, Tom Pfeifer, S. Felix Wu. (2007). Securing a Path-Coupled NAT/Firewall Signaling Protocol. In *IP Operations and Management*, pp. 61-72. Berlin: Springer.
- Zhipeng Cai, Chaokun Wang, Siyao Cheng, Hongzhi Wang, Hong Gao. (2014). NC-STP: A High Performance Network Coding Based Space Transport Protocol. In *Wireless Algorithms, Systems, and Applications*, pp. 34-43. Switzerland: Springer International Publishing.
- Peder Jungck, Ralph Duncan, Dwight Mulcahy. (2011). Packet Information Block and System Packet Operations. In *packetC Programming*, pp. 175-204. USA: Apress.
- Chris Carthern, William Wilson, Richard Bedwell, Noel Rivera. (2015). Routing. In *Cisco Networks*, pp. 93-147. AE, USA: Apress.
- Phani Raj Tadimety. (2015). OSPF: A Network Routing Protocol. London: Apress.
- Newsroom.cisco.com. (2016). Cisco Corporate Overview and Resources | The Network. [online] Available at: <http://newsroom.cisco.com/overview> [Accessed 4 Apr. 2016].
- Mikrotik.com. (2016). MikroTik Routers and Wireless: About MikroTik. [online] Available at: <http://www.mikrotik.com/aboutus> [Accessed 4 Apr. 2016].
- Belkin. (2016). About Belkin. [online] Available at: <http://www.belkin.com/us/aboutus/> [Accessed 4 Apr. 2016].
- Andy Schürr, Manfred Nagl, Albert Zündorf. (2008). The EMF Model Transformation Framework. In *Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance*, pp. 566-567. Berlin: Springer.
- Brian Malloy, Steffen Staab, Mark van den Brand. (2011). Automated Co-evolution of GMF Editor Models. In *Software Language Engineering*, pp. 143-162. Berlin: Springer.
- Eclipse.org. (2016). Sirius - The easiest way to get your own Modeling Tool. [online] Available at: <http://www.eclipse.org/sirius/> [Accessed 18 Dec. 2015].
- Efftinge, S. and Spoenemann, M. (2016). Xtext - Language Engineering Made Easy!. [online] Eclipse.org. Available at: <http://www.eclipse.org/Xtext/> [Accessed 4 Nov. 2015].
- Reinhold Heckmann. (1986). An efficient ELL(1)-parser generator. *Acta Informatica*, 23, 127-148. 2016, De Springer-Verlag Base de datos. www.netacad.com/about-networking-academy/packet-tracer/
- Wiki.mikrotik.com. (2016). Manual:IP/Firewall/NAT - MikroTik Wiki. [online] Available at: <http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:IP/Firewall/NAT> [Accessed 7 Nov. 2015].

Dd-wrt.com. (2016). One-to-one NAT - DD-WRT Wiki. [online] Available at: http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/One-to-one_NAT [Accessed 7 Nov. 2015].

Authenticvision.com. (2016). Authentic Vision: About Authentic Vision. [online] Available at: <http://www.authenticvision.com/company/about-authentic-vision.html> [Accessed 5 Feb. 2016].

Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo

Esperanza Manrique Rojas¹

emanrique@uabc.edu.mx

¹ Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma Baja California, Tijuana, Baja California, México.

Pages: 586–599

Resumen: En la industria de desarrollo de software, existe un gran número de lenguajes de programación cada uno con el objetivo de dar respuesta a la complejidad de manejo de datos para generar información oportuna y a la aportación de innovaciones tecnológicas. El lenguaje de elección se decide, algunas veces, por el nivel de comodidad y la experiencia previa del desarrollador. Machine Learning (ML) automatiza la construcción de modelos de análisis de datos, rama de la inteligencia artificial que basa su desarrollo en sistemas que aprenden de datos, identifican patrones y toman decisiones. Se ha identificado que más personas están se encuentran interesadas en aprender sobre ML y a su vez, los lenguajes de programación que se pueden utilizar para el desarrollo de estas aplicaciones. Seleccionar cual es el mejor o adecuado lenguaje de programación, es una tarea difícil. Este capítulo tiene como objetivo describir las características que distinguen cada uno de los lenguajes de programación y algunas herramientas de software que se utilizan en el desarrollo de aplicaciones ML.

Palabras-clave: Machine Learning, lenguajes de programación, Python, Julia, R, Matlab.

Machine Learning: analysis of programming languages and development tools

Abstract: The industry is flooded with innumerable programming languages each with the objective of solving the complexities of the business and bringing technological innovations. The language of choice is sometimes decided by the level of comfort and previous experience of the developer. Machine Learning (ML) automates the construction of data analysis models, a branch of artificial intelligence that bases its development on systems that learn from data, identify patterns and make decisions. For this reason, more and more people are interested in learning about ML and the programming languages they can use for development, but a question arises when it starts and you should select the one that should be the best programming language. This chapter aims to describe the characteristics that distinguish each of the programming languages and some software tools used in the development of ML applications.

Keywords: Machine Learning, programming languages, Python, Julia, R, Matlab.

1. Introducción

La popularidad de la Inteligencia Artificial, en especial la rama de Machine Learning (ML) incrementado en los últimos tiempos, la de desarrollar e implementar aplicaciones diversas para la resolución de problemas, ha crecido en de forma exponencial y donde se incluyen múltiples dominios industriales. Es por esto que hoy en día, muchos profesionistas del área de tecnologías y los que no son propiamente de esta área, han demostrado el interés en aprender sobre ML y, a su vez, los lenguajes de programación que pueden utilizar, pero surge una duda al comenzar el proceso de desarrollo de la aplicación, para esto debe seleccionar el mejor o adecuado lenguaje de programación. Existen un gran número de lenguajes de programación para resolver las complejidades del negocio y aportar innovaciones tecnológicas. Cada año surgen lenguajes de programación, marcos y tecnologías, pero pocos sobreviven al paso del tiempo.

Algunas veces el lenguaje que se selecciona para el desarrollo es por las experiencias y la comodidad del desarrollador. La ventaja de seleccionarlo de esta forma es, que ayuda a crear y desarrollar rápidamente prototipos, aunque a largo plazo puede no ser la mejor opción para desarrollar dicha aplicación, y una de las razones podría ser la cantidad de procesos de datos que se necesitara. Algunos de los lenguajes de programación utilizados en ML son R, Python, Julia y Matlab, entre muchos otros.

2. Machine Learning

ML resuelve situaciones por sí solo a partir de un análisis de datos y cuantos más datos tengan mejores resultados, además, para realizar el análisis se utilizan algoritmos que diseñan otros datos según las necesidades (Juárez, G. 2017). A través de los datos de entrada, ML ejecutar un algoritmo y como resultado, genera más información para el problema (Bishop, C., 2007). El objetivo de generar más datos se basa en las siguientes técnicas:

- Regresión lineal y polinómica.
- Árboles de decisión.
- Redes neuronales.
- Red bayesiana.
- Cadenas de Markov.

Estas técnicas permiten a ML reconocer patrones, extraer conocimiento, descubrir información y hacer predicciones.

Se considera que cada persona aprende de una manera particular, utiliza los sentidos, la experiencia y sus habilidades cognitivas, también puede confiar en estrategias personales y técnicas de aprendizaje, por ejemplo, tomar notas, resolver ejercicios, leer, memorizar, marcar libros. En el entorno informático, se pretende lograr que las computadoras alcancen la autonomía (Jordan, M. I., & Mitchell, T. M., 2015) y de esta forma aprendan de forma automática sus propias habilidades que se definen con los algoritmos para el aprendizaje y la gestión de datos.

El ML no es auto programación, sino auto aprendizaje de datos y experiencia para generar patrones y resolver nuevas tareas. Este aprendizaje es la combinación de

técnicas, datos, conceptualización de análisis de datos y algoritmos para generar nuevos patrones o modelos de predicción.

2.1. Aplicaciones comunes de Machine Learning

Las aplicaciones del ML se pueden identificar en aplicaciones de uso cotidiano como Twitter o Facebook, por ejemplo, cuando agrega un amigo o una persona a través de las famosas recomendaciones, o incluso en YouTube es muy común viajar a través de los videos recomendados, muchos del usuario de estas herramientas y otras, han experimentado estas recomendaciones (Ingeniero, 2015).

Para tener una mayor claridad sobre el ML, a continuación, se describen algunas áreas en las que este tipo de tecnología se usa comúnmente:

- Detección de correos electrónicos no deseados (spam): mediante la detección de texto en correos electrónicos recibidos, los algoritmos de ML los clasifica como no deseados (Lenin J., 2017) y (Ingeniero, 2015).
- Detección de patrones en imágenes: esta función se encuentra en la cámara fotográfica en la que se detectan las sonrisas de las personas que se identifican y una vez que están sonriendo, se realiza la toma automáticamente. El desafío aquí es identificar que la persona está sonriendo dadas todas las características faciales que una persona puede tener (Ingeniero, 2015).
- Otra Aplicación muy utilizada es AMAZON, la cual da recomendaciones de productos de acuerdo a los patrones de compra que identifica, es fascinante esta aplicación dentro del mundo del aprendizaje automático (Ingeniero, 2015) y Bishop, C. (2007).

2.2. Tipos de aprendizaje de Machine Learning

Para comprender esta actividad, es importante conocer la clasificación de los tipos de algoritmos de aprendizaje de ML que se describirán a continuación:

- Aprendizaje supervisado: se enseña al algoritmo cómo realizar su trabajo (Rojas, E. 2018), con un conjunto de datos clasificados bajo una cierta apreciación o idea para encontrar patrones que puedan aplicarse en un análisis (Mueller, J., & Massaron, L., 2016) y producir una salida que ya se conoce.
- Aprendizaje no supervisado: se define como un modelo predictivo entrenado de manera similar al aprendizaje supervisado, pero la diferencia es que la comprensión se da en datos no clasificados o etiquetados y descubre patrones de ejemplos similares entre grupos de datos (Bishop, C., 2007).
- Aprendizaje reforzado: es un tipo de aprendizaje automático en el que no hay capacitación con datos clasificados o no clasificados; el sistema aprende en un entorno donde no hay información sobre la posible salida (López, J., López, B., & Díaz, V., 2004), a través de acciones y los resultados obtenidos, como lo mencionan Mueller, J., & Massaron, L. (2016) además, el modelo se refuerza al resolver el problema de la mejor manera.

2.3. Pasos para construir un modelo de Machine Learning

La creación de un modelo de ML no se limita a usar un algoritmo de aprendizaje o una biblioteca de ML; es un proceso que generalmente implica al menos 6 pasos, que se muestran en la Figura 1.

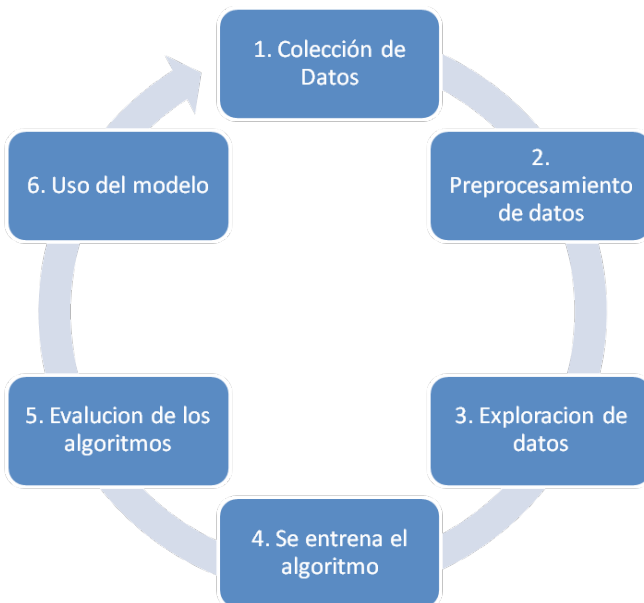


Figure 1 – Machine learning model construction process

Lopez, R. (2015), describe cada uno de estos pasos como se describe a continuación:

1. Recolectar los datos: Los datos se pueden recolectar de fuentes tal como un sitio web, utilizando una API o una base de datos. Este paso es uno de los más complicados y requiere un tiempo determinado.
2. Preprocesamiento de los datos: Con los datos disponibles, se debe asegurar que todos tengan un formato correcto para alimentar el algoritmo de aprendizaje. Por lo general se tiene que realizar varias tareas de preprocesamiento antes de poder usar los datos.
3. Explore los datos: Se realiza un análisis previo para corregir los casos de valores faltantes o tratar de encontrar a primera vista cualquier patrón en ellos que facilite la construcción del modelo. En este punto, se deben detectar valores atípicos; o encuentre las características que tienen más influencia para hacer una predicción.
4. Entrena el algoritmo: los algoritmos de aprendizaje se alimentan con los datos que se procesaron en las etapas anteriores. La idea es que los algoritmos pueden extraer información útil de los datos iniciales y luego hacer las predicciones.
5. Evaluar el algoritmo. Se realizan las pruebas de la información que genera el conocimiento del entrenamiento previo que se obtuvo a través del algoritmo.

Se realiza una evaluación sobre la precisión del algoritmo en sus predicciones y, si no está satisfecho con su rendimiento, debe volver a la etapa anterior y continuar entrenando el algoritmo cambiando algunos parámetros hasta que se logre un rendimiento aceptable.

3. Lenguajes de desarrollo de Machine Learning

Existen varios lenguajes de programación que se utilizan para construir aplicaciones de IA y ML. Cada aplicación tiene sus propios requisitos y restricciones, y algunos lenguajes podrían ser mejores que otros según los problemas específicos. Los lenguajes de programación han evolucionado, y otros se han creado en función de los requisitos únicos de las aplicaciones de IA.

Este capítulo solo aborda los lenguajes de programación Python, R, que son los más comunes para este desarrollo, Julia por ser un nuevo lenguaje para IA y Matlab, por su orientación matemática y estadística (fig. 2).



Figure 2 – Programming languages for Machine Learning development

3.1. Lenguaje Python

Python es un lenguaje donde su código se ejecuta en el navegador al cargar la página, es independiente de la plataforma y orientado a objetos, está listo para realizar cualquier tipo de programa desde aplicaciones de Windows hasta servidores de red o incluso páginas web. Es un lenguaje interpretado, lo que ofrece ventajas como la velocidad de desarrollo e inconvenientes como una velocidad más baja al ser ejecutado (Álvarez, M., 2003).

En los últimos años, este lenguaje se ha vuelto muy popular y algunas de las razones son las siguientes:

- El número de bibliotecas que contiene, los tipos de datos y las funciones incorporadas en el lenguaje (Álvarez, M., 2003) y (Equipo de Expertos, 2019).
- Python es gratis, importante: incluso para fines comerciales.
- La simplicidad y velocidad con la que se crean los programas. Un programa en Python menos líneas de código que su equivalente en Java o C, (Álvarez, M., 2003).

- El número de plataformas en las que se puede desarrollar, como Unix, windows, OS/2, Mac y otras (Roman V, 2015).

3.1.1. Características de Python para el desarrollo de Machine Learning:

1. La asociación Python de ML: se ha visto favorecida por aplicaciones que van desde el desarrollo web hasta la automatización de scripts y procesos. (Roman V, 2015).
2. Amplia selección de bibliotecas y marcos: Uno de los aspectos que hace que Python sea una opción tan popular en general es su abundancia de bibliotecas y macros que facilitan la codificación y ahorran tiempo en el desarrollo.
3. Código legible y consiso: facilidad de uso y simplicidad, especialmente para los nuevos desarrolladores. El aprendizaje profundo se basan en algoritmos extremadamente complejos y flujos de trabajo de múltiples etapas (Lopez, R.,2015) y (Roman V, 2015).
4. Agilidad: La sintaxis simple de Python significa que también es más rápido en desarrollo que muchos lenguajes de programación y permite al desarrollador probar algoritmos rápidamente sin tener que implementarlos (Roman V, 2015).
5. Colaboración: fácil de leer es de gran valor para la codificación cooperativa, o cuando los proyectos de Python de Deep Learning o ML cambian de manos entre los equipos de desarrollo (Expertos ,2019) y (Roman V, 2015).
6. Python es un lenguaje de programación de código abierto y está respaldado por una gran cantidad de recursos y documentación de alta calidad.

3.1.2. Bibliotecas de Python para Machine Learning

Una de las grandes ventajas que ofrece Python sobre otros lenguajes de programación; es cuán grande y proliferante es la comunidad de desarrolladores que lo rodea; comunidad que ha contribuido con una gran variedad de librerías de primer nivel que amplían las funcionalidades del lenguaje (Roman V, 2015). En el caso de ML, las principales bibliotecas que se utilizan son las descritas en la Tabla 2.

Librería	Aplicación o Uso
Scikit-Learn	Se utiliza para clasificaciones, extracción de características, regresiones, agrupaciones, reducción de dimensiones, selección de modelos o preprocesamiento. (Pedregosa, Varoquaux, Gramfort, et. Alabama. ,2011).
Statsmodels	Es otra gran biblioteca que se centra en modelos estadísticos y se utiliza principalmente para análisis predictivos y exploratorios. (Seabold, S. y Perktold, J., 2010).
PyMC	Implementa modelos estadísticos bayesianos, incluida la cadena Markov Monte Carlo (MCMC). Ofrece funcionalidades para hacer que el análisis Baiesiano sea lo más simple posible (Patil, A., Huard, D. y Fonnesbeck, C. J. , 2010).
NLTK	Es la biblioteca líder para el procesamiento del lenguaje. Proporciona interfaces fáciles de usar para más de 50 cuerpos y recursos léxicos, como WordNet, junto con un conjunto de bibliotecas de procesamiento de texto para clasificación, tokenización, etiquetado, análisis y razonamiento semántico (Patil, A., Huard, D ., Y Fonnesbeck, CJ, 2010).

Tabla 1 – Librerías de Python

3.2. Lenguaje R

R es un lenguaje de programación especialmente orientado al análisis estadístico y a la representación gráfica de los resultados obtenidos. Es un proyecto de GNU por lo que los usuarios son libres de modificarlo y extenderlo. R se distribuye como software libre bajo la licencia GNU y es multiplataforma (hay versiones para plataformas Windows, Mac y Linux, y de hecho algunas distribuciones de Linux lo tienen incorporado), lo que también ha facilitado su adopción y la existencia de una comunidad muy activa su entorno, con constantes desarrollos de nuevas funcionalidades y versiones mejoradas de las existentes. Es un lenguaje basado en comandos, en lugar de hacer clic y arrastrar iconos o menús con el mouse, escribe comandos o instrucciones que se ejecutan. Una secuencia de instrucciones o comandos R que implementa un flujo de trabajo para realizar una tarea se denomina script o script R. (Perkins, J., 2014).

3.2.1. Características principales como lenguaje (*Lenguaje de Programación, SF*) son:

- Posibilidad de crear gráficos, basados en LaTeX.
- Gran cantidad de herramientas estadísticas:
 - Modelos lineales y no lineales.
 - Pruebas estadísticas.
 - Algoritmos de clasificación y agrupación.
- Posibilidad de crear sus propias funciones, así como objetos, ya que su programación es POO (orientada a objetos).
- Integración con diferentes bases de datos.
- Puede tener un uso matemático, como sustitución de MATLAB.

El verdadero potencial de R reside precisamente en aquellas bibliotecas (algunas ya incorporadas en el sistema base y otras para ser instaladas) que permiten que R se destaque de otros entornos e lenguajes para el análisis estadístico, principalmente en las funcionalidades relacionadas con la manipulación de datos, visualización de gráficos y disponibilidad de algoritmos de aprendizaje automático. (Industria 4.0, 2015).

3.2.2. Contribución del lenguaje R al análisis de datos

R tiene algunas características especiales que lo hacen versátil para el manejo de elementos estadísticos, específicamente para operaciones con matrices y vectores, lo que facilita la manipulación de bases de datos. Por lo tanto, R le permite manipular datos muy rápidamente. (Rochina P., 2016).

En cuanto al aprendizaje automático, R ha implementado una gran cantidad de algoritmos, como consecuencia de las diferentes líneas de investigación de grupos que llevaron a su creación, debido precisamente al hecho de que R nació en el campo académico (Rochina P., 2016).

Frente a R, es su curva de aprendizaje, que generalmente es más lenta y complicada en comparación con Python.

3.2.3. Bibliotecas para ciencia de datos

Algunas de las bibliotecas que se han vuelto extremadamente útiles para analizar y manipular datos con R son:

- Tidyverse que explora, ordena y analiza datos, además este paquete incluye las bibliotecas ggplot2, tibble, tidyr, readr, purrr y dplyr; que comparten una filosofía propia y están diseñados para trabajar naturalmente entre ellos.
- Caret: cuando se trata de simplificar el proceso de ML este paquete ofrece una serie de herramientas para la construcción de modelos de ML en R. Caret proporciona herramientas esenciales para: la etapa de preparación de datos, dividir el conjunto de datos, seleccionar los atributos principales y evaluar los Modelos.

Otras bibliotecas de lenguaje R si se trata de organizar grandes volúmenes de datos de forma intuitiva, data.table es el paquete indicado. En la Tabla 3, se describen las bibliotecas para el desarrollo de ML (Lopez, SF).

Librería	Aplicaciones o Uso
RandomForest	Para trabajar específicamente con modelos Random Forest, el paquete randomForest puede ser una buena opción; Este paquete permite crear este tipo de modelos de una manera muy simple.
Rpart	El paquete rpart es una buena alternativa para trabajar con árboles de clasificación. Implementa los principales algoritmos para trabajar con este tipo de modelos.
Igraph	Para analizar y visualizar redes y gráficos, el paquete igraph es la mejor opción. Este paquete proporciona una serie de rutinas altamente eficientes para visualizar y analizar las conexiones de las redes
Outliers	Si lo que necesita es encontrar valores atípicos. Esta biblioteca ofrece varias funciones y pruebas para identificar valores atípicos.
Survival	Es un paquete que facilita la realización de análisis de supervivencia.
Forecast	Proporciona métodos y herramientas para mostrar y analizar predicciones univariadas de series de tiempo, incluido el suavizado exponencial a través de modelos de espacio de estado y el modelado automático ARIMA
Nnet	Las redes neuronales han recibido mucha atención últimamente debido a sus habilidades para aprender las relaciones entre las variables. Representan una técnica innovadora para adaptar modelos que no se basa en los supuestos convencionales requeridos por el modelado estándar; y eso también puede manejar datos multivariados de manera muy efectiva. Un gran paquete para trabajar con redes neuronales de una manera muy simple es nnet.

Table 2 – Programming Language Library R.

3.3. Lenguaje matlab

La plataforma MATLAB está optimizada para resolver problemas científicos y de ingeniería. El lenguaje MATLAB, basado en matrices, es la forma más natural de expresar las matemáticas computacionales en el mundo. Los gráficos integrados facilitan la visualización de los datos y la obtención de información de ellos. Una amplia

biblioteca de herramientas integradas (Toolboxes) le permite comenzar a trabajar de inmediato con algoritmos esenciales para su dominio. El entorno de escritorio invita a experimentar, explorar y descubrir. Todas estas herramientas y funciones de MATLAB son rigurosamente probadas y diseñadas para trabajar juntas (Lopez, SF).

Gracias al uso de MATLAB, los ingenieros y otros expertos han implementado miles de aplicaciones para mantenimiento predictivo, análisis de sensores, finanzas y electrónica de comunicaciones. MATLAB facilita las partes más difíciles del aprendizaje automático gracias a (MathWorks for Machine Learning, SF):

- Técnicas de procesamiento de señales y extracción de funciones avanzadas.
- Ajuste de hiperparámetros y selección de funciones automáticas para optimizar el rendimiento de los modelos.
- Posibilidad de usar el mismo código para escalar el procesamiento de big data y clusters.
- Generación automática de código C / C ++ para aplicaciones integradas y de alto rendimiento.
- Todos los algoritmos comunes de clasificación, regresión y agrupamiento para el aprendizaje supervisado y no supervisado.
- Ejecución más rápida que con código abierto en la mayoría de los cálculos estadísticos y el aprendizaje automático.

Con MATLAB, los ingenieros y analistas de datos tienen acceso inmediato a funciones prediseñadas, cajas de herramientas integrales y aplicaciones especializadas para clasificación, regresión y agrupamiento (MathWorks for Machine Learning, SF).

MATLAB le permite hacer lo siguiente (MathWorks for Machine Learning, SF):

- Compara enfoques como regresión logística, árboles de clasificación, máquinas de vectores de soporte, métodos combinados y aprendizaje profundo.
- Utiliza las técnicas de reducción y refinamiento del modelo para crear un modelo preciso que capture mejor el poder predictivo de sus datos.
- Integra modelos de aprendizaje automático en sistemas, clústeres y nubes empresariales, y dirige los modelos al hardware integrado en tiempo real.
- Genera código automáticamente para el análisis de sensores integrados.
- Emplea flujos de trabajo integrados desde el análisis de datos hasta la implementación.

Para el análisis de datos multidimensionales, Statistics and Machine Learning Toolbox proporciona selección de características, regresión gradual, análisis de componentes principales (PCA), regularización y otros métodos de reducción de dimensionalidad que permiten identificar variables o características que impactan su Modelo.

El kit de herramientas proporciona algoritmos de aprendizaje automático supervisados y no supervisados, que incluyen máquinas de vectores de soporte (MVS), árboles de decisión potenciados y en bolsas, vecinos k más cercanos, medios k, medoides k, agrupamiento jerárquico, modelos de mezcla gaussiana y modelos de Markov ocultos (MathWorks, Comparación entre MATLAB y Python, SF).

3.4. Lenguaje Julia

Julia es un lenguaje con tipos dinámicos y buen soporte para uso interactivo. La versión 1.0 de Julia finalmente se lanzó y los desarrolladores dicen que el buen rendimiento que han logrado se debe a que Julia fue diseñada desde el principio para un alto rendimiento. Los programas de Julia compilan código nativo de manera eficiente en múltiples plataformas gracias al esquema desarrollado por LLVM (Máquina virtual de bajo nivel (Analytics Line, 2019)). La sintaxis fue diseñada pensando que era útil en matemáticas.

Si se trata de utilizar a Julia como un lenguaje de propósito general, se proporciona una biblioteca estándar que proporciona entradas / salidas asíncronas, control de procesos, así como un administrador de paquetes, entre otras cosas. Los cambios desde la versión 0.6 comienzan con un nuevo administrador de paquetes que es más rápido que la versión anterior y que admite entornos de paquetes por proyecto (Analytics Line, 2019) y Lopez M. (2018).

La nueva versión también ofrece una nueva representación canónica de los valores faltantes para que los desarrolladores de Julia puedan representarlos y trabajar con información incompleta. Cualquier tipo de colección genérica admite estos datos perdidos simplemente permitiendo la inclusión de elementos con los valores predefinidos perdidos.

Otras mejoras incluyen cambios en el tipo de cadenas interconectadas, es decir, de cadenas de caracteres para poner datos de manera arbitraria. Todos los datos de la cadena de caracteres se conservan mientras se indican qué caracteres son válidos o no válidos. .

3.4.1. Julia and Machine Learning

A medida que los sistemas de aprendizaje automático se vuelven más complejos, los investigadores necesitan cada vez más lenguajes diferenciables en los que simplemente puedan escribir sus algoritmos como código. La sintaxis matemática de Julia lo convierte en una forma ideal de expresar algoritmos tal como están escritos en documentos, mientras que Flux convierte el código en modelos entrenables con diferenciación automática, aceleración de GPU y soporte para terabytes de datos a través de JuliaDB.

3.4.2. Ventajas de lenguaje Julia sobre Python

Estas son las principales ventajas que tiene Julia sobre el lenguaje Python (Analytics Line, 2019):

1. Velocidad: en su estado predeterminado, el lenguaje Julia es aún más rápido que Python. Esto es posible porque Julia usa tanto las declaraciones de tipo como la compilación JIT (Just in time). Las versiones no optimizadas de la programación de Python no pueden igualar la velocidad de Julia. Sin embargo, puede aumentar la velocidad de Python utilizando compiladores de terceros como PyPy y otras bibliotecas externas.
2. Gestión automática de la memoria: con Julia, no se sobrecargará con las tareas de liberar y asignar memoria. El lenguaje hace estas tareas por usted. El lenguaje

- proporciona medidas efectivas para la recolección de basura. Sin embargo, esto también es una característica del lenguaje Python.
3. Sintaxis orientada a las matemáticas: es de conocimiento común que el lenguaje Julia fue creado especialmente para cálculos científicos que se utilizan en un entorno matemático. La sintaxis de este lenguaje de programación es bastante similar a las fórmulas matemáticas que normalmente se usan para otras operaciones matemáticas que no son solo ciencias de la computación. Por esta razón, Julia puede ser fácilmente entendida por no programadores.
 4. Paralelismo: no podemos negar el hecho de que tanto Julia como Python usan el paralelismo para la gestión de recursos. Sin embargo, Julia es menos pesada en términos de los recursos que usa en comparación con Python.

El rendimiento se logra mediante el uso de un compilador JIT en lugar de un intérprete. Lo que significa que la primera ejecución del código es más lenta ya que el compilador tiene que analizar y compilar el código. Ser capaz de significar una desventaja en ciertas ocasiones con respecto a otros lenguajes. Los usuarios de Julia indican que es tan fácil de usar como Python, R o Matlab.

4. Estudio comparativo de lenguajes de programación ML

Conociendo algunos de los lenguajes de programación de Machine Learning, en la Tabla 4 enumera y describe los factores que afectan a cada uno de ellos (González L, 2018).

Factores	Descripción
Velocidad	Al elegir el mejor lenguaje de programación, la velocidad es esencial. R fue desarrollado básicamente como un lenguaje estadístico, esto significa que tiene un mayor análisis de datos y soporte estadístico. Por su parte, Python depende de los paquetes, por lo tanto, cuando se trata de tareas relacionadas con estadísticas, R tiene una ventaja en comparación con Python y es un poco más rápido.
Curva de aprendizaje	Cuando se trata de la perspectiva funcional, R es el lenguaje de programación, mientras que cuando se trata de estar orientado a objetos, Python es el lenguaje. Si pertenece al grupo de programadores funcionales, entonces aprender Python será mucho más fácil en comparación con R. Cuando llegue a Matlab y Julia, ambos son similares a escribir algunas ecuaciones matemáticas, y sí, son fáciles de aprender e implementar.
Costo	El único lenguaje que se paga y necesita una licencia para su uso es Matlab. Los otros tres lenguajes son de código abierto y es completamente gratuito. Por lo tanto, cuando tiene recursos gratuitos disponibles, ¿por qué alguien elegiría pagar? Esta es la razón por la cual Matlab se retrasa un poco en comparación con otros lenguajes.
Comunidad para soporte	Todos los lenguajes de programación son muy populares en el mercado y cuentan con un gran apoyo de la comunidad. Aunque debe mencionarse que Python es la que tiene la comunidad más grande en Internet que es bastante solidaria en el momento de un problema con los desarrollos.

Table 3 – Factores que afectan cada uno de los lenguajes de programación.

Cuando se trata de análisis estadístico, R es el lenguaje de programación apropiado. Si se trata de tareas relacionadas con la visión por computadora, Matlab es la opción

preferida. Si se trata de tareas relacionadas con la bioinformática o la biología, entonces Julia es el lenguaje de programación elegido. Pero si se trata de tareas generales como el procesamiento de datos y el procesamiento de resultados, entonces Python es el lenguaje de programación más apropiado

5. Conclusión

El uso de uno y otro lenguaje debe dar respuestas a las siguientes preguntas:

¿Qué tipo de problema quieres resolver? Uno u otro se seleccionará de acuerdo con el tipo de análisis de datos que se debe llevar a cabo, ya sea aprendizaje automático, minería de datos, análisis web, etc. Por lo tanto, R es una muy buena opción cuando el análisis de datos requiere un cálculo independiente o un análisis individual en los servidores, mientras que Python lo usará cuando el análisis de datos requiera integrarse con las aplicaciones web o si es necesario incorporar la estadística del código de análisis en una base de datos de producción.

¿Cuánto me costará aprender a usar el lenguaje de programación? Debe tenerse en cuenta, dependiendo del conocimiento previo en programación, estadísticas, etc., si R o Python serán más fáciles de aprender y poner en práctica, debe tenerse en cuenta que el objetivo es resolver el problema. Eso existe entre manos, y aprender a usar las herramientas para resolverlo no debería convertirse en el núcleo del problema en sí.

¿Con qué herramientas se integrarán al entorno a trabajar? Debe conocer el entorno en el que trabaja y qué programas para big data e inteligencia de negocios se manejarán, para elegir el lenguaje de programación que mejor se integra con las herramientas.

Responder estas preguntas puede guiar el uso de uno u otro lenguaje, cada lenguaje tiene sus propias características, que pueden evaluarse para adoptar el que mejor se adapte al problema a resolver.

Referencias

- Álvarez, M. (2003). Lenguaje de programación de propósito general, orientado a objetos, que también puede utilizarse para el desarrollo web. Retrieved from: <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>
- Analytics Line, (2019), Accessed April 19 2019, from <https://www.analyticslane.com/2018/09/24/conoces-el-lenguaje-de-programacion-julia/>
- Bishop, C. (2007). Pattern recognition and machine learning. New York, NY: Springer.
- Contreras, F. (2016). Introduction al machine learning. Accessed November 10 2018, Retrieved from: https://www.zemsania.com/recursos-zemsania/whitepapers/DTS/Machine_learning.pdf
- Equipo de Expertos Universidad Internacional de Valencia. (2019). Machine Learning Python: el lenguaje de los negocios del futuro. Retrieved from: <https://www.universidadviu.com/machine-learning-python-el-lenguaje-de-los-negocios-del-futuro/>

- Gonzalez L. (2018). Lenguajes de programación para Machine Learning, Accessed May 11 2019, Retrieved from: <http://ligdigonzalez.com/lenguajes-de-programacion-para-machine-learning/>
- Industria 4.0, (2015). Big Data Analytics, emprendimiento digital y Nuevos modelos de negocio. El lenguaje de programación R para análisis Estadístico y machine learning. Accessed April 10 2019, from <http://www.mikelnino.com/2015/04/R-lenguaje-programacion-analisis-estadistico-machine-learning.html>
- Ingeniero Beta. (2015) Applications of Machine Learning . from <http://ingenierobeta.com/machine-learning-aplicaciones/>
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects, Retrieved from: http://science.sciencemag.org/content/349/6245/255?casa_token=PngLtzsuefoAAAAA:w2Nq8oJ899bxwJ5nyLMEco1l9nJx6_O3ocobyne8JJfw28Q2k_FHMT6DHcoFvjsIa21Hn5Fa_mylOeEW
- Juárez, G. (2017). ¿Cómo funciona el aprendizaje automático (Machine Learning) Retrieved from: <http://www.nexolution.com/como-funciona-el-aprendizaje-automatico-machine-learning/>
- Lenguajes de Programación (SF). Lenguaje R. Accessed April 15 2019, from <https://lenguajesdeprogramacion.net/r/>
- Lenin, J. (2017). Pin G.1, Filtrado de SPAM en SMS mediante algoritmos de aprendizaje automático Maskana - Ciencias de la Computación, Retrieved from: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/download/>
- Lopez B.(SF) Libro de IAAR, Accessed April 14 2019, from <https://iaarbook.github.io/rlang/>
- López, J., López, B., & Díaz, V. (2004). ALGORITMO DE APRENDIZAJE POR REFUERZO CONTINUO PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN SEMI-ACTIVA. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 9(2), 77–91., Retrieved from: <https://www.facebook.com/>
- Lopez, R. (2015). Powered by Pelican Machine Learning con Python [Blog] Retrieved from: <https://relopezbriega.github.io/blog/2015/10/10/machine-learning-con-python/>
- Marr, B. (2018). Artificial Intelligence: What Is Reinforcement Learning - A Simple Explanation & Practical Examples., Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/28/artificial-Intelligence-what-is-reinforcement-learning-a-simple-explanation-practical-Examples/#e5720c9139ce>
- MathWorks for Machine Learning,(SF) Accessed April 19 2019, from <https://la.mathworks.com/solutions/machine-learning.html>
- MathWorks, Comparación entre MATLAB y Python: principales razones para elegir MATLAB (SF). Accessed April 30 2019, from <https://la.mathworks.com/products/matlab/matlab-vs-python.html>

- Mueller, J., & Massaron, L. (2016). Machine learning for dummies. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Patil, A., Huard, D., & Fonnesbeck, C. J. (2010). PyMC: Bayesian stochastic Modelling in Python. *Journal of statistical software*, 35(4), 1. Retrieved from: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v035i04>
- Pedregosa, Varoquaux, Gramfort, et. al. (2011) Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of machine learning Research*, 12(Oct), 2825-2830. Retrieved from: <http://www.jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>
- Perkins, J. (2014). Python 3 text processing with NLTK 3 cookbook. Packt Publishing Ltd. © Copyright 2013, Francisco J. Romero-Campero. © Copyright 2013, Created Using Sphinx 1.1.3. Retrieved from: https://www.cs.us.es/~fran/curso_unia/introduccion_R.html
- Rochina P. (2016), Python vs R para el análisis de datos, Retrieved from: <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/python-r-analisis-datos/>
- Rojas, E. (2018). Glosario de los seis términos básicos del Machine Learning, Retrieved from: <https://www.muycomputerpro.com/2018/02/07/glosario-terminos-basicos-machine-learning>.
- Seabold, S., & Perktold, J. (2010). Statsmodels: Econometric and statistical python, Retrieved from: <https://conference.scipy.org/proceedings/scipy2010/pdfs/seabold.pdf>
- Sommer, C., & Gerlich, D. (2013). Machine learning in cell biology – teaching Computers to recognize phenotypes. *Journal of Cell Science*, 126(24), 5529-5539. doi: 10.1242/jcs.123604

Modelo conceptual de desarrollo de e-Gobierno para las municipalidades

Vicente Morales^{1,2}, Sussy Bayona¹

jose.morales1@unmsm.edu.pe, sbayonao@hotmail.com

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Germán Amézaga s/n, 15081, Lima, Perú.

² Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 600–614

Resumen: Los modelos de desarrollo de e-gobierno han sido planteados para simplificar y mejorar las operaciones entre la administración pública y los ciudadanos. A partir del análisis comparativo de modelos de desarrollo de e-gobierno, el objetivo de este estudio es determinar un modelo integral que cubra los requerimientos de los gobiernos municipales. Para lo cual se consideró los e-servicios adicionales más utilizados por niveles de madurez en modelos implementados especialmente en países de América Latina. También se determinó las ciudades más importantes a nivel mundial en la oferta de e-servicios a la ciudadanía. El resultado es un nuevo modelo conceptual de e-gobierno que considera los e-servicios más utilizados y que no fueron considerados en modelos anteriores.

Palabras-clave: Modelos e-gobierno; gobiernos locales; e-servicios; ranking e-gobierno.

Conceptual model of e-Government development for municipalities

Abstract: The e-government development models have been proposed to simplify and improve operations between public administration and citizens. From the comparative analysis of e-government development models, the aim of this paper is to determine an integral model that meets the requirements of municipal governments. For which the most used additional e-services were considered by maturity levels in models implemented especially in Latin American countries. It also determined the most important cities worldwide in the offer of e-services to citizens. The result is a new conceptual model of e-government that considers the most used e-services and that were not considered in previous models.

Keywords: E-government models; local governments; e-services; e-government ranking.

1. Introducción

Las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) se han constituido en una herramienta fundamental en las organizaciones públicas y privadas. El Gobierno

Electrónico (e-gobierno) fusiona la utilización intensiva de las TIC con formas de gestión, planificación y administración (Concha y Naser, 2012), orientado a crear un sector público más eficiente y eficaz para satisfacer las necesidades ciudadanas mediante el desarrollo de nuevos servicios electrónicos (e-servicios) (Justice et al., 2006).

Los e-servicios tienen la intención de acelerar la eficacia y la productividad de las organizaciones gubernamentales (Gustafsson & Fiedler, 2004) y se ofertan a través de los portales de gobierno. Los portales de gobierno se han constituido en las principales plataformas digitales públicas (Lee-Geiler & Lee, 2019). El Ranking de Portales de Gobierno y su comparación con la demanda de e-servicios en los estados muestran la importancia de los portales de gobierno como herramientas para poner al alcance de los ciudadanos tanto la información como los servicios gubernamentales (Sandoval et al., 2018).

El presente estudio tiene como objetivo principal explorar los modelos de e-gobierno que contextualicen los e-servicios por niveles de madurez y que permitan determinar un modelo integral en el desarrollo del e-gobierno orientado a entornos locales. Sin embargo, es necesario también profundizar el estudio para determinar qué e-servicios ofertan las ciudades que estén dentro de las Top 10 a nivel mundial (Ahn, 2011). Los medios sociales son herramientas virtuales de colaboración masiva apoyadas en internet (Bradley & McDonald, 2011).

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se analiza el marco teórico. En la Sección 3 se detalla la metodología de investigación. En la Sección 4 se presenta la identificación de e-servicios adicionales. En la Sección 5 se presenta un estudio de caso de aplicación del modelo de e-gobierno propuesto. En la Sección 6 se presenta los resultados y discusión. Finalmente, en la Sección 7 se presenta las conclusiones.

2. Marco Teórico

2.1. E-gobierno desde una óptica mundial

La encuesta que realiza periódicamente las Naciones Unidas sobre e-gobierno tiene por objetivo ofrecer una evaluación indicativa de la difusión del e-gobierno a través de la calificación de desempeño de los gobiernos nacionales entre sí (United Nations, 2018). El EGDI (Índice de Desarrollo del Gobierno Electrónico) es una medida compuesta por el promedio ponderado de los puntajes normalizados en las tres dimensiones más importantes de e-gobierno: Índice de Servicios en Línea (OSI), Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones (TII) y el Índice de Capital Humano (HCI). Cada uno de estos índices se puede analizar de forma independiente, el cual está normalizado para que se ubique dentro del rango de 0 a 1 (United Nations, 2018; riplebelieves, 2019).

Los países se clasifican dentro de 4 grupos dependiendo de los niveles de desarrollo de e-gobierno. En la Tabla 1 se presenta los niveles de desarrollo y el rango correspondiente para cada grupo (United Nations, 2018).

Grupo	Nivel de desarrollo	Rango (EGDI)
1	Muy alto	0.75 – 1.00
2	Alto	0.50 – 0.75
3	Medio	0.25 – 0.50
4	Bajo	0.25 o inferior

Tabla 1 – Ranking de país según los niveles de desarrollo de e-gobierno

De acuerdo a la clasificación propuesta por las Naciones Unidas un sólo país sudamericano (Uruguay) se encuentra en el grupo considerado como “Muy Alto”, la gran mayoría de países sudamericanos se encuentran en el grupo “Alto” como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú y Venezuela, en el grupo “Medio” se encuentran Guyana y Surinam, y ningún país sudamericano se encuentra en el Nivel Bajo (United Nations, 2018).

2.2. Modelos de e-gobierno

Los primeros modelos de etapas de e-gobierno se propusieron alrededor del año 2000 (Debrí & Bannister, 2015). Los niveles de desarrollo son una sucesión de etapas de madurez que requieren la integración continua de dispositivos de diferentes niveles de tecnología y sofisticación en los sitios web. Por lo tanto, estos modelos tienen un enfoque principalmente tecnológico (Rodrigues, 2018). El estudio realizado por Esteves (2005) fue ampliado a los países latinoamericanos para conocer el grado de implantación y desarrollo de los servicios de administración electrónica en el ámbito municipal. Un modelo de desarrollo de e-gobierno está estructurado por varias dimensiones y atributos. Las dimensiones lo conforman las etapas o niveles de desarrollo y los atributos los e-servicios.

2.3. Ciudades en las TOP 10 desde el año 2003

Según los estudios y evaluaciones realizados por Holzer and Kim (2007) y las United Nations (2018), a nivel mundial únicamente cinco son las ciudades que se han mantenido dentro de los 10 primeros puestos de desarrollo de e-gobierno en el período 2003–2007, cuatro ciudades en el período 2003–2010, y una sola ciudad en el período 2003-2018 (ver Tabla 2).

R*	Encuesta 2003	R*	Encuesta 2005	R*	Encuesta 2007	R*	Encuesta 2010	R*	Encuesta 2018
1	Seúl	1	Seúl	1	Seúl	1	Seúl	8	Seúl
2	Hong Kong	2	Nueva York	2	Hong Kong	3	Hong Kong		
3	Singapur	4	Hong Kong	4	Singapur	4	Nueva York		
4	Nueva York	6	Singapur	7	Tokio	5	Singapur		
9	Tokio	7	Tokio	9	Nueva York				

R*– Ranking

Tabla 2 – Ciudades que se han mantenido en el Top 10 entre 2003 y 2018

3. Metodología

La metodología desarrollada por Esteves (2005) fue adaptada y utilizada para evaluar los niveles de madurez del e-gobierno. Esta metodología se centra en la medición de los e-servicios disponibles para la ciudadanía a través de los portales web municipales. En esta metodología se han incorporado otros servicios en cada una de las etapas de madurez, considerando los e-servicios más utilizados por autores en sus diferentes propuestas de modelos de e-gobierno como Aramouni & Pando (2006), Gómez (2007), entre otros; y también considerando los e-servicios más utilizados en las 10 Top ciudades en el mundo (Seoul Metropolitan Government, 2010) con lo cual se definió un nuevo modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno aplicable en entornos locales.

Además, se realizó un estudio de caso para evaluar los e-servicios adicionales ofertados a la ciudadanía, a través de los sitios web municipales, mediante la aplicación del modelo de e-gobierno propuesto. El universo de estudio se definió por la totalidad de los nueve municipios correspondientes a los nueve cantones de la provincia de Tungurahua en Ecuador. El análisis de los sitios web de cada uno de los cantones, y la obtención y análisis de datos para evaluar los e-servicios se realizó siguiendo el procedimiento señalado en Bayona and Morales (2017b). El nivel de desarrollo de e-gobierno de cada cantón se determinó utilizando las métricas y el procedimiento indicados en Morales & Bayona (2018a).

4. E-Servicios adicionales para el modelo de e-gobierno

El presente estudio se basa en la exploración de modelos de e-gobierno que contextualicen los e-servicios por niveles de madurez orientados a entornos locales. Por lo tanto, se determinó un modelo de e-gobierno aplicable a las municipalidades en base a al análisis comparativo de varios estudios (Bayona & Morales, 2017a). El resultado obtenido fue un modelo estructurado por etapas de madurez (Presencia, Información Urbana, Interacción, Transacción y e-Democracia).

4.1. Evolución del modelo de e-gobierno

Uno de los primeros modelos de desarrollo de e-gobierno por etapas fue propuesto por Esteves (2005) estructurado por 5 etapas de madurez (Presencia, Información Urbana, Interacción, Transacción y e-Democracia) y un total de 16 e-servicios municipales.

El Modelo de desarrollo del e-gobierno municipal en Venezuela planteado por Gómez (2007) para evaluar el desarrollo del e-gobierno municipal se vale de un modelo que permite medir el progreso de las iniciativas de e-gobierno en un ámbito delimitado. Este modelo está estructurado en 5 dimensiones, comienza en la etapa presencial y termina en la etapa de transformación o e-democracia. Estas cinco fases deben ser evaluadas para definir un indicador del desarrollo del e-gobierno municipal. Para cada etapa se definen variables cualitativas, que en este caso corresponde a un total de 17 e-servicios municipales.

En el modelo de Aramouni & Pando (2006) basado en el esquema metodológico de Esteves (2005) permite realizar un análisis del estado actual del desarrollo del e-gobierno a nivel municipal. Este esquema describe el desarrollo de los portales de e-gobierno a

través de cinco dimensiones. Cada dimensión o etapa ofrecen la información en línea. En este caso, se han incorporado otros e-servicios alcanzando a un total de 26 e-servicios ofertados a la ciudadanía.

4.2.E-servicios adicionales más utilizados en modelos de e-gobierno

Para obtener un modelo integrado de desarrollo de e-gobierno municipal la propuesta se fundamenta en el análisis comparativo de los e-servicios más utilizados en varios modelos de e-gobierno desarrollados desde la perspectiva del ciudadano (Morales & Bayona, 2018a). En este análisis comparativo se tomó en cuenta las propuestas de diferentes autores que consideran modelos de e-gobierno estructurados por etapas de madurez como (1) Shackleton et al. (2004), (2) Esteves (2005), (3) Aramouni and Pando (2006), (4) Esteves and Bohorquez (2007), (5) Gaspar et al. (2011), (6) Schejtman et al. (2014), (7) Karkin and Janssen (2014), y (8) Dias and Gomes (2014) como se puede ver en la Tabla 3.

Para determinar el índice de desarrollo de e-gobierno municipal se incluyeron las 5 dimensiones propuestas por Esteves (2005) y un total de 37 atributos o e-servicios más ofertados por las municipalidades a la ciudadanía.

4.3.E-servicios adicionales más utilizados en las Top 10 ciudades

En el presente análisis se consideró otros “e-servicios adicionales” que no fueron determinados en el análisis comparativo de modelos de e-gobierno, los cuales fueron identificados en las Top 10 ciudades en el mundo, en base a la revisión y análisis de sus respectivos portales web. Por lo tanto, se consideraron los e-servicios adicionales más utilizados en las ciudades líderes en e-gobierno en el año 2010. Para facilidad de identificación, estas ciudades han sido numeradas del 1 al 10: 1 (Seúl), 2 (Praga), 3 (Hong Kong), 4 (Nueva York), 5 (Singapur), 6 (Shangai), 7 (Madrid), 8 (Viena), 9 (Auckland), y 10 (Toronto) (ver Tabla 4).

Etapa / Nivel	Atributos / E-servicios	Autores de modelos de e-gobierno (N°)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Presencia	Logotipo municipal				√				
	Dirección institucional					√	√	√	
	Impresión/descarga de archivos		√	√		√			√
	Boletín legislativo municipal		√	√	√		√		√
	Búsqueda en el sitio		√	√	√		√	√	√
	Mapa Web del sitio		√	√	√		√		
	Noticias municipales	√		√				√	
	Directorio municipal					√			√
	Enlaces			√		√			
	Fecha de actualización			√			√		
	Contactos				√				
	Horario de atención			√		√			√

Etapa / Nivel	Atributos / E-servicios	Autores de modelos de e-gobierno (Nº)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Información urbana	Mapa de calles de la ciudad		✓	✓	✓		✓	✓	
	Transporte público		✓	✓	✓			✓	
	Actividades productivas			✓			✓		
	Registro fotográfico o de vídeos			✓					
	Agenda de eventos						✓		
Interacción	Correo electrónico		✓	✓	✓		✓		
	Respuesta al correo electrónico			✓					
	Número telefónico disponible		✓	✓	✓				
	Descarga de formularios					✓			✓
	Reclamos, quejas, sugerencias			✓			✓	✓	✓
	Preguntas Frecuentes (FAQs)	✓							
	Facebook u otras redes sociales						✓		
	Opciones de idioma						✓	✓	
Transacción	Carpeta ciudadana y actualización de datos online		✓	✓	✓				
	Pagos en línea		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Certificado digital		✓	✓	✓	✓			
	Móvil (acceso web vía celular)		✓	✓	✓		✓		
	Personalización del sitio web		✓	✓	✓	✓			
	Trámites en línea		✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Ayuda para trámites (guía)			✓					
	Seguimiento de trámites	✓	✓	✓	✓				✓
e-Democracia/ Transparencia	Encuestas		✓	✓	✓				✓
	Foros o debates		✓	✓	✓				✓
	Consultas públicas								✓
	Transmisión en vivo de sesiones de Consejo Municipal							✓	

Tabla 3 – E-servicios más utilizados en varios modelos de desarrollo de e-gobierno

E-servicios comunes adicionales	Top 10 ciudades en e-gobierno en el mundo										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
<i>Registro Electrónico</i>	✓		✓		✓		✓			✓	5
<i>Iniciar sesión (login)</i>	✓		✓		✓		✓			✓	5
<i>Idiomas</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	8
<i>Ayuda</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	9
<i>Me gusta</i>	✓										1

E-servicios comunes adicionales	Top 10 ciudades en e-gobierno en el mundo										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cámara en vivo (plaza cívica)	✓										1
Ubicación	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9
Turismo	✓	✓					✓	✓	✓	✓	6
Redes sociales	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	9
Biblioteca	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10
Chat en línea				✓	✓	✓	✓				4
Participación ciudadana en sesiones de Consejo Municipal	✓						✓			✓	3

Tabla 4 – E-servicios adicionales más utilizados en las TOP 10 ciudades en el mundo

Entre los e-servicios adicionales, más utilizados en las TOP 10 ciudades, están los siguientes: “Biblioteca” cuyo objetivo es la prestación del servicio a la ciudadanía a través de catálogos y servicios de búsqueda, uso de redes sociales, opción de visualización del sitio web en diferentes idiomas, opción de medios virtuales para promocionar el turismo local, y la autenticación de acceso para hacer uso de la prestación de servicios en línea.

5. Estudio de Caso

5.1. Identificación del caso

El estudio de caso se aplicó en los municipios cantonales pertenecientes a la Provincia de Tungurahua en la república de Ecuador. Ecuador es un país que se encuentra ubicado en el noroeste de Sudamérica y está conformado por 24 provincias, 4 regiones naturales y 9 zonas de planificación. La provincia de Tungurahua está ubicada en el centro del país es parte de la región sierra o montañosa y corresponde a la Zona 3. Tungurahua tiene 9 cantones y su capital provincial es Ambato. En la Tabla 5 se muestra las características poblacionales y territoriales de los cantones de Tungurahua basados en los datos proporcionados por el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), según el Censo del 2010.

Cantón (Cx)	Población		Extensión	Densidad	Altitud
	(Censo 2010)	(Proy. 2019)	Km2	Hab/Km2	(msnm)
(C1) Ambato	329856	382941	1018.32	323.92	2500
(C2) Baños	20018	24598	1065.82	18.78	1820
(C3) Cevallos	8163	9787	18.96	430.54	2908
(C4) Mocha	6777	7315	85.82	78.97	3264
(C5) Patate	13497	15649	316.44	42.65	2270
(C6) Pelileo	56573	66039	201.55	280.69	2600
(C7) Pillaro	38357	43051	446.51	85.90	2803

Cantón (Cx)	Población		Extensión	Densidad	Altitud
	(Censo 2010)	(Proy. 2019)	Km2	Hab/Km2	(msnm)
(C8) Quero	19205	20586	173.81	110.49	2799
(C9) Tisaleo	12137	14148	59.02	205.64	3245
PROVINCIA	504583	584114	3386.25	149.01	2620

Tabla 5 – Características de los cantones de la provincia de Tungurahua

5.2. Evaluación de e-servicios municipales

La obtención y análisis de datos para evaluar los e-servicios se realizó siguiendo el procedimiento señalado en Bayona and Morales (2017b). El modelo utilizado para determinar la realidad del nivel de desarrollo del e-gobierno municipal de los cantones de la provincia de Tungurahua es el modelo propuesto en este estudio (ver Figura 1). Los datos resultantes de la evaluación se pueden ver en la Tabla 6.

Niv.	Etapas de desarrollo	E-Servicios	Evaluación e-Serv. (cantones C1-C9)								
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	Presencia	E 1.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 1.2	1	0	1	1	1	1	1	1	0
		E 1.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 1.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 1.5	1	0	1	0	1	0	1	0	1
		E 1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 1.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 1.8	1	1	1	0	0	0	1	1	1
		E 1.9	1	0	1	1	1	1	0	1	1
		E 1.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 1.11	1	1	0	0	0	1	0	1	0
		E 1.12	1	1	0	1	0	1	0	0	0
2	Información Urbana	E 2.1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
		E 2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 2.3	1	0	1	1	1	1	0	1	1
		E 2.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 2.5	1	0	0	1	1	1	0	0	0
		E 2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Interacción	E 3.1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 3.2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		E 3.3	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		E 3.4	1	0	0	0	1	0	0	0	1
		E 3.5	1	0	0	1	0	1	0	0	1
		E 3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Niv.	Etapas de desarrollo	E-Servicios	Evaluación e-Serv. (cantones C1-C9)								
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
4	Transacción	E 3.7	1	0	0	1	1	1	0	1	1
		E 3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 4.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 4.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 4.3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 4.4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		E 4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 4.6	1	0	0	0	0	1	0	0	0
		E 4.7	1	0	0	0	0	1	0	0	0
		E 4.8	1	0	0	0	0	1	0	0	0
5	e-Democracia	E 4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E 5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6 – Variables dicotómicas asignadas a los e-servicios municipales

5.3. Nivel de desarrollo del e-gobierno municipal

El índice de desarrollo de e-gobierno de cada cantón se determinó utilizando las métricas y el procedimiento indicados en Morales & Bayona (2018a), lo cual permitió comparar el desarrollo del e-gobierno entre los municipios de la provincia de Tungurahua. Los resultados por etapas de desarrollo y por cantón (en %), se determina a partir del valor máximo referencial de cada etapa. Por ejemplo, el valor máximo referencial en la etapa 1 (Presencia) puede alcanzar un valor de 12, aplicando ponderación da un valor de 3, y en porcentaje da un valor de 100%. Para el caso del e-gobierno de Tisalelo (C9) en la etapa 1 (Presencia) el índice de e-gobierno alcanzó un valor de 7, ponderado un valor de 1.75, y en porcentaje un valor de 58% ($7 \times 0.25 / 3 = 0.58$) (ver Tabla 7).

Etapas	VMP*	Índices de desarrollo de e-gobierno (Cantones C1-C9)									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Prom
1	3	0.83	0.58	0.67	0.58	0.58	0.67	0.58	0.67	0.58	0.64
2	3.5	0.57	0.14	0.43	0.57	0.43	0.57	0.14	0.43	0.43	0.41
3	6	0.75	0.38	0.25	0.50	0.38	0.50	0.25	0.38	0.63	0.44
4	9	0.67	0.11	0.11	0.11	0.11	0.44	0.11	0.11	0.11	0.21
5	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Valor	26.5										
I* (%)	1	0.57	0.21	0.23	0.29	0.25	0.42	0.18	0.25	0.30	0.30

“I*” – Índice de desarrollo en %; “VMP*” – Valor máximo ponderado

Tabla 7 – Índices de desarrollo de e-gobierno por etapas y cantones

6. Resultados y discusión

6.1. Modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno municipal

Al desarrollar un modelo integrador para evaluar el nivel de desarrollo del e-gobierno municipal, el presente estudio proporciona un modelo holístico para autoridades públicas para mejorar sus sitios web para facilitar la e-gobernanza democrática que ayuda a crear resultados públicos más efectivos (Lee-Geiller & Lee, 2019).

El modelo de e-gobierno propuesto en esta investigación está estructurado en primer lugar en base al análisis comparativo de modelos de desarrollo de e-gobierno estructurados por etapas (Esteves, 2005; Aramouni & Pando, 2006; Gómez, 2007). Los modelos de e-gobierno por etapas son los modelos que han tenido mayor aceptación y aplicación en entornos de e-gobiernos locales. En segundo lugar, tuvo un aporte valioso la revisión de los e-servicios más utilizados en las TOP 10 ciudades más importantes en el mundo en cuanto a e-gobierno se refiere. Conforme al análisis descrito en la sección 4, el modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno propuesto para entornos locales es el indicado en la Figura 1.

6.2. Aplicación de modelo conceptual de e-gobierno

Para evaluar el nivel de desarrollo del e-gobierno municipal fue necesario definir una base metodológica que permita medir el progreso de las iniciativas del e-gobierno en un ámbito delimitado. Se utilizó una metodología que define un esquema analítico orientado a la medición del desarrollo de e-gobierno, la cual fue adaptada y utilizada para este estudio y se centra en la medición de los atributos de e-servicios disponibles en los portales web municipales.

Luego de aplicado el modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno propuesto, el ranking respecto al nivel de desarrollo de e-gobierno municipal alcanzado por los cantones de la provincia de Tungurahua, se puede ver en la Figura 2. El cantón con mayor desarrollo de e-servicios es Ambato, que tiene el puntaje más alto, luego el cantón Pelileo aparece en segundo lugar, y en el último lugar se encuentra el cantón Píllaro.

7. Conclusiones

El modelo conceptual final de desarrollo de e-gobierno quedó estructurado por 5 etapas o niveles de madurez y por 40 atributos o e-servicios que los municipios ofertan a la ciudadanía. Dentro de los e-servicios adicionales más utilizados y más relevantes están biblioteca, autenticación, turismo, preguntas frecuentes, redes sociales, alternativa de idiomas del sitio web, entre otros. Los e-servicios adicionales más relevantes identificados ha sido incorporados al nuevo modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno municipal con el fin de obtener resultados más satisfactorios y reales. El modelo propuesto es de gran utilidad para los encargados de la toma de decisiones como parte de la política pública. La evaluación de los e-servicios municipales se basa en la existencia de un conjunto de servicios que son comunes a los municipios de todo el mundo, con el fin de establecer una línea de base para la evaluación comparativa de los municipios, que examina

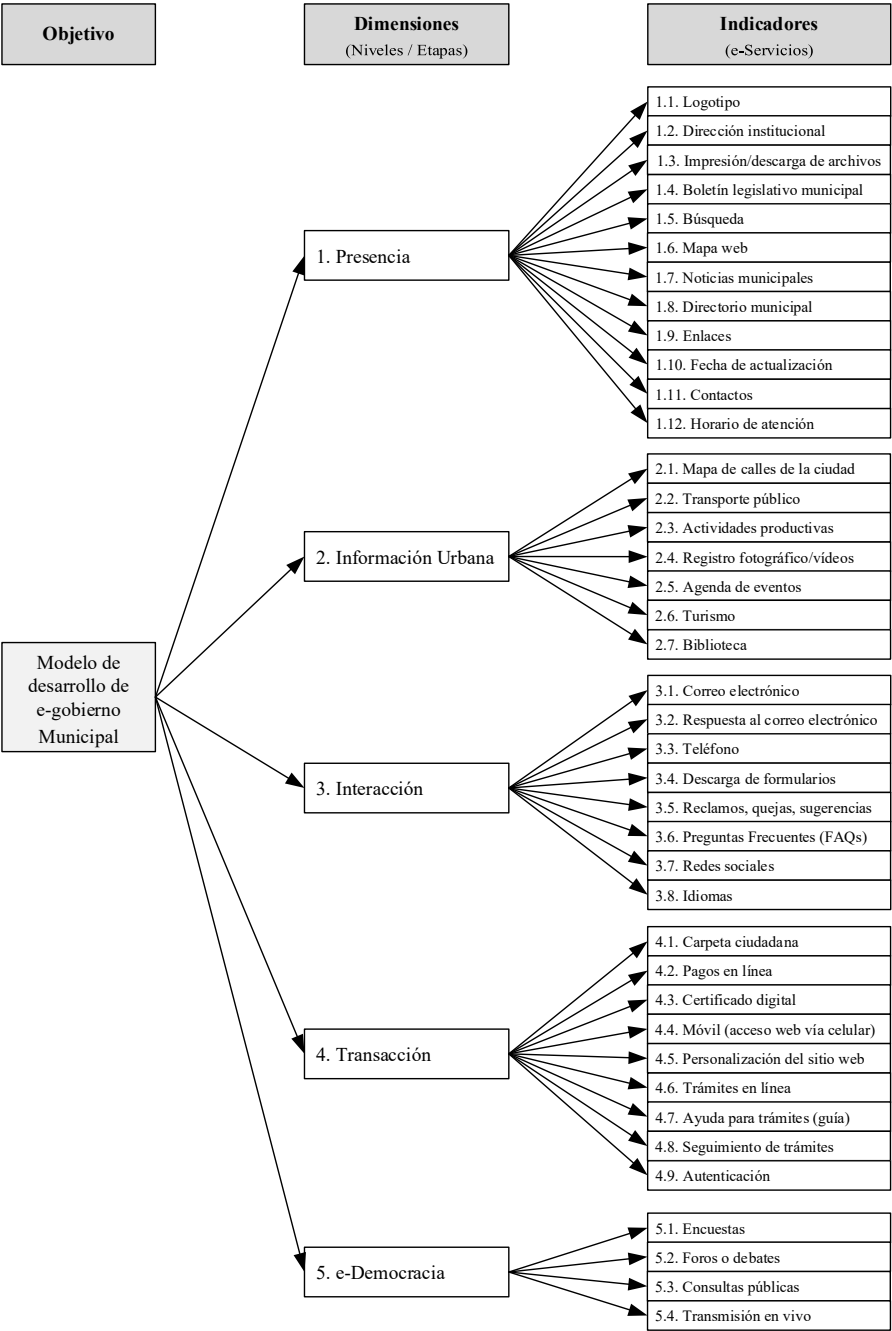


Figura 1 – Modelo conceptual de desarrollo de e-gobierno municipal (propuesto)

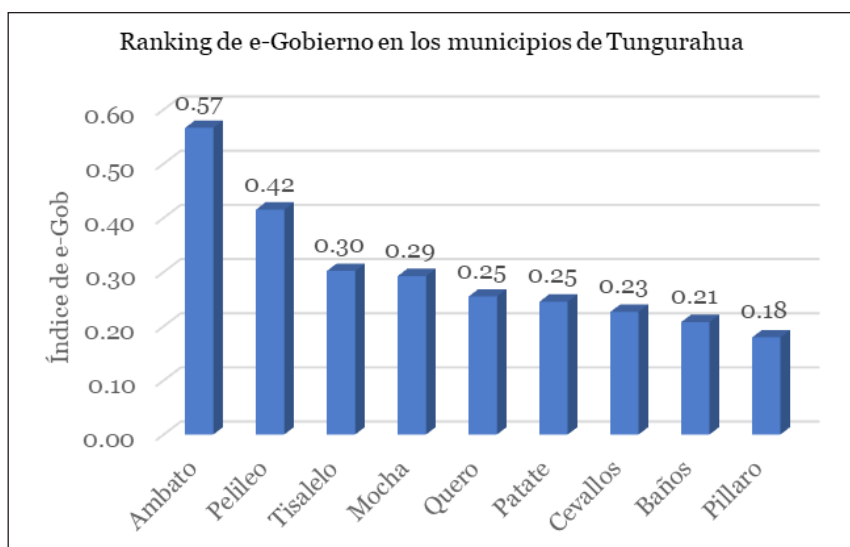


Figura 2 – Desarrollo del e-gobierno en los municipios de Tungurahua

servicios similares en lugar de organizaciones similares. La evaluación del desarrollo del e-gobierno ayuda a las instituciones del sector público a determinar su estrategia web, afianzar la política pública, establecer operaciones resilientes y sostenibles, e informar a los responsables políticos sobre el desempeño del e-gobierno desde el punto de vista de los ciudadanos.

Discusión y trabajos futuros

El modelo de desarrollo de e-gobierno planteado por Esteves (2005) ha ido evolucionando en el tiempo y conforme al avance y desarrollo de la tecnología. Inicialmente constaba de 16 atributos a evaluarse en comparación con el modelo propuesto que contiene 40 componentes llamados e-servicios que los municipios más importantes en el mundo ofertan a la ciudadanía. Es muy destacable el trabajo realizado por el Gobierno Metropolitano de Seúl, en cuanto a la prestación de e-servicios a la ciudadanía. Seúl en varios procesos de evaluación de e-gobierno ha ocupado el primer lugar, según estudios existentes de ranking de e-servicios en el desarrollo de e-gobierno a nivel mundial (2003-2010). Sin embargo, con la aplicación por primera vez de un nuevo modelo, y por un organismo diferente, como es las Naciones Unidas, últimamente ha cambiado el liderazgo en el desarrollo de e-gobierno, correspondiendo el primer sitio a la ciudad de Moscú, según encuesta realizada en el año 2018.

El presente estudio está orientado para las grandes metrópolis, y se requiere desarrollar una investigación en otras realidades como en ciudades pequeñas en población y en desarrollo de e-gobierno, consideradas como tal, debido a la influencia de diferentes factores como el económico, infraestructura, liderazgo, voluntad política, etc. Las investigaciones futuras deben probar empíricamente el modelo de e-gobierno planteado

y determinar la efectividad en la implementación de e-servicios considerando la influencia de diferentes factores críticos.

Agradecimientos

El agradecimiento por el apoyo brindado en la investigación a la Universidad Técnica de Ambato, DIDE y Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Referencias

- Ahn, M. J. (2011). Adoption of e-communication applications in US municipalities: The role of political environment, bureaucratic structure, and the nature of applications. *The American Review of Public Administration* 41:428–52.
- Aramouni, G., & Pando, D. (2006). Midiendo el Gobierno Electrónico. Análisis de páginas web municipales en Argentina. *Cátedra Alianza Sumaq en e-Government*, Universidad de San Andrés, Buenos Aires.
- Bayona, S., & Morales, V. (2017a). E-government development models for municipalities. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 17(S1), S47–S59. <https://doi.org/10.3233/JCM-160679>
- Bayona, S., & Morales, V. (2017b). Maturity model for local E-Government: A case study. *ACM International Conference Proceeding Series*, Part F1280, 78–83. <https://doi.org/10.1145/3036331.3050419>
- Bradley, A., & McDonald, M. P. (2011). The Social Organization. United States of America: Gartner.
- Concha, G., y A. Naser, A. (2012). El desafío hacia el gobierno abierto en la hora de la igualdad. CEPAL – Colección Documentos de proyectos, Santiago de Chile. *Impreso en Naciones Unidas*, pp. 11-14.
- Debrí, F., & Bannister, F. (2015). e-Government Stage Models: A Contextual Critique. In *48th Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.266>
- Dias, G. P., & Gomes, H. (2014). Evolution of local e-government maturity in Portugal. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*.
- Esteves, J. (2005). Análisis del desarrollo del gobierno electrónico municipal en España. Working Paper. IE Business School.
- Esteves, J., & Bohorquez, V. (2007). Analyzing the development of municipal e-government in peruvian cities”, *Proceedings of the 9th International Conference on Social Implications of Computers in Developing Countries*, São Paulo, Brazil.
- Gaspar, M., Dos Santos, S., Donaire, D., y León, D. (2011). Los gobiernos estatales brasileños y el uso de tecnologías electrónicas. Vol. 14, no. 1986, pp. 43–55.

- Gómez, P. (2007). El gobierno electrónico en el municipio venezolano. *Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento* 2: 67-80.
- Gustafsson, K., & Fiedler, M. (2004). E-Government: services, needs and user satisfaction. Blekinge Institute of Technology, School of Engineering, Karlskrona, Sweden, 2004.
- Holzer, M., & Kim, S.-T. (2007). Digital Governance in Municipalities Worldwide (2007). A Longitudinal Assessment of Municipal Websites Throughout the World. (P. Neves, Ed.), *National Center for Public Performance*. New Jersey.
- Justice, J. B., Melitski, J. & Smith, D. L. (2006). E-government as an instrument of fiscal accountability and responsiveness: Do the best practitioners employ the best practices? *American Review of Public Administration*, 36(3), pp. 301-322.
- Karkin, N., & Janssen, M. (2014). Evaluating websites from a public value perspective: A review of Turkish local government websites. *International Journal of Information Management*, vol. 34, no. 3, pp. 351-363.
- Lee-Geiller, E. & Lee, T. (2019). Using government websites to enhance democratic E-governance: A conceptual model for evaluation, *Government Information Quarterly*, Volume 36, Issue 2, Pages 208-225.
- Meier, A. (2012). eDemocracy & eGovernment. *EDemocracy & EGovernment*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-24494-0>
- Morales, V., & Bayona, S. (2017). Municipal E-government in the provincial capitals of Ecuador. *30th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering*, CAINE 2017, 3-9.
- Morales, V., & Bayona, S. (2018a). Evaluation Metrics of the Development of Municipal e-Government (Vol. 206). *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36981-0>
- Ripleybelieves (2019). Países Con Gobiernos Electrónicos Altamente Desarrollados. Retrieved from: <https://es.ripleybelieves.com/countries-with-highly-developed-e-governments-10763>
- Rodrigues, S. (2018). Local e-government models: A comparative and critical overview. The Małopolska School of Economics in Tarnów Research Papers Collection. <https://doi.org/10.25944/znmwse.2018.04.95114>
- Sandoval, R., et al. (2018). Ranking de Portales de Gobierno Estatal 2018. Retrieved from: <https://u-gob.com/ranking-de-portales-de-gobierno-estatal-2018/>
- Schejtman, L., Calamari, M., y Adúriz, C. (2014). Gobierno electrónico: Índice Nacional de Páginas Web Municipales 2014. *Documento de Trabajo N°126*. Buenos Aires: CIPPEC.

- Seoul Metropolitan Government. (2010). Seoul ranked first in '100 Cities Survey on E-government' 4 consecutive times (*Aug 06, 2010*). Retrieved from: KoreaNet, <http://www.korea.net/news.do?mode=detail&guid=48867>, UNPAN, <http://www.unpan.org/PublicAdministrationNews/tabid/651/mctl/ArticleView/ModuleID/1555/articleId/22366/Default.aspx>
- Shackleton, P., Fisher, J., & Dawson, L. (2004). Evolution of local government e-services: the applicability of e-business maturity models. *37th Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. Proc.*, vol. 0, no. C, pp. 1–9.
- United Nations (2018). E-government survey 2018. Retrieved from: [https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government Survey 2018_FINAL for web.pdf](https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2018-Survey/E-Government%20Survey%202018_FINAL%20for%20web.pdf)

Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas: Una apuesta a la competitividad desde alianzas entre gobierno, academia y sector productivo

Cesar D. Guerrero¹, Dewar Rico-Bautista²

cguerrer@unab.edu.co, dwricob@ufpso.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga, Avenida 42 No. 48 – 11, 680003, Bucaramanga, Colombia.

² Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Sede Algodonal Vía Acolsure, 546551, Ocaña, Colombia.

Pages: 615–628

Resumen: El objetivo del artículo es mostrar la experiencia y pilares del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT)-Nodo Oriente, su articulación desde la academia hacia el sector productivo. Se contextualiza desde IoT y su importancia para el desarrollo de la experiencia. Se concluye que los factores importantes en el éxito de las alianzas son: compromiso y soporte por parte de la dirección de la empresa; existencia de patrocinador en la empresa; actitud y habilidades del investigador.

Palabras-clave: Academia; Alianzas productivas; IoT; Universidad inteligente.

Center for Excellence and Internet Acquisition of Things: A commitment to competitiveness from alliances between government, academia and productive sector

Abstract: The objective of the article is to show the experience and pillars of the Center for Excellence and Internet Acquisition of Things (CEA-IoT) -Nodo Oriente, its articulation from the academy to the productive sector. It is contextualized from IoT and its importance for the development of the experience. It is concluded that the important factors in the success of the alliances are: commitment and support from the management of the company; existence of sponsor in the company; attitude and skills of the researcher.

Keywords: Academy; Productive alliances; IoT; Smart university.

1. Introducción

La relación con la industria es necesaria, ya que puede aportar al investigador problemas muy interesantes en los que profundizar desde un punto de vista teórico. (Parnas, 1998). Esta relación entre investigación académica e industria es difícil, ya que, como señala

Runeson (2012), los principales productos de trabajo de la investigación académica son publicaciones en revistas y conferencias que no están diseñadas como canal de comunicación entre la academia y la industria, por lo que se necesita una comunicación más directa para obtener beneficios mutuos de colaboración. Dentro de esta comunicación, uno de los aspectos más efectivos, pero a la vez más difíciles de conseguir, es la realización de tesis doctorales “industriales” que bien puedan ser realizadas por los propios profesionales de la industria o bien se trate de doctorados que se incorporen a las empresas una vez finalizada su tesis doctoral. (Genero, Cruz-Lemus, & Piattini, 2015)

Según Botella (2001) citado por Genero, Cruz-Lemus, & Piattini (2015) “otro fin que debería sustentar siempre la investigación pública y tiene que ver con su destinatario final. (...) ha de tener un fin social que contribuya al progreso, y la investigación tecnológica ha de ser el motor de la industria”, (p.40). Desde la perspectiva de promover acciones educativas que tengan pertinencia e impacto nacional en innovación y competitividad, el Ministerio de Tecnologías de Información en Colombia ha definido acciones encaminadas a desarrollar Centros de Excelencia y Apropiación en tecnologías emergentes que puedan a su vez generar emprendimientos de base tecnológica. Una de esas apuestas se ha materializado en el Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT) que lidera la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en el oriente del país (Guerrero, Parra-Valencia, & Rico-Bautista, 2017). El CEA-IoT ha logrado conectar los intereses del gobierno, de universidades en diferentes regiones del país, de líderes tecnológicos en Internet de las Cosas a nivel mundial y de empresas del sector productivo que ven en estas tecnologías una oportunidad de innovación hacia la competitividad. En la UNAB, el CEA-IoT se nutre y fortalece a dos programas de posgrado: la Maestría en Telemática y el doctorado en Ingeniería que promueve la interacción cercana con el sector productivo y con organizaciones que han tenido experiencias significativas en procesos de transferencia tecnológica y emprendimiento de base tecnológica. Esto con el fin de conocer de primera mano las necesidades y oportunidades que ameritan una intervención de nivel de investigación doctoral. Es decir, estrategias para extraer de la sociedad los insumos necesarios para definir un problema de investigación doctoral, es un elemento que es promovido por el programa.

El propósito de este artículo es mostrar la experiencia y los pilares del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT)-Nodo Oriente, su articulación desde la academia hacia el sector productivo. Las secciones del documento son: (i) Introducción, (ii) Conceptualización, (iii) Desarrollo de la experiencia, (iv) Discusión-análisis, (v) Conclusiones y finalmente (vi) Referencias.

2. Internet de las cosas

Internet de las cosas o IoT (Internet of Things), se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o que sean electrónicos a Internet, este concepto se deriva del avance de la tecnología y a la necesidad de compartir y controlar las cosas que nos rodean (Li, Xu, & Zhao, 2015). Algunos de los campos en los que IoT se presenta fuertemente son: la adopción generalizada de redes basadas en el protocolo IP (Airehrou, Gutierrez, & Ray, 2016), la economía en la capacidad de cómputo, la miniaturización, los avances en el análisis de datos (Danieletto, Bui, & Zorzi, 2014) y el surgimiento de la computación en la nube, salud, herramientas de aprendizaje, seguridad (Flauzac, Gonzalez, & Nolot,

2015), optimización de procesos (Aziz, 2016), agricultura (Stoces, Vanek, Masner, & Pavlík, 2016), entre otros.

Internet de las cosas es un tema emergente de importancia técnica, social y económica (Whitmore, Agarwal, & Xu, 2015). En este momento se están combinando productos de consumo, bienes duraderos, automóviles y camiones, componentes industriales y de servicios públicos, sensores y otros objetos de uso cotidiano con conectividad a Internet y potentes capacidades de análisis de datos que prometen transformar el modo en que trabajamos, vivimos y jugamos (Won-jun, 2016). Las proyecciones del impacto de la IoT sobre Internet y la economía son altas: hay quienes anticipan que en el año 2025 habrá hasta cien mil millones de dispositivos conectados a la IoT y que su impacto será de US\$ 11.000.000.000.000 (Vongsingthong & Smachat, 2014).

Tener sensores u objetos dispersos que generar información desde cualquier lugar, requiere la interconexión de estos objetos heterogéneos a través de Internet (Jara, Moreno-Sanchez, Skarmeta, Varakliotis, & Kirstein, 2013). Cobran importancia los Smart Objects, objetos físicos con un sistema embebido que le permite procesar información y comunicarse con otros dispositivos y realizar acciones con base en una acción o evento determinado (Ghaleb, Subramaniam, & Zukarnain, 2016). No obstante, todos estos sistemas complejos presentan retos tales como: 1) la interoperabilidad y los estándares (Pathak, 2016) debido a las diferencias entre software y hardware utilizado por cada uno en los diferentes procesos; 2) el análisis avanzado de enormes cantidades de datos producidos por la red de sensores, que requieren de un tratamiento que permita su posterior análisis (Danieletto, Bui, & Zorzi, 2014); 3) la seguridad entendido como los ataques a dispositivos conectados a Internet, el temor a la vigilancia y las preocupaciones relacionadas con la privacidad (Jin-ho & Seung-Ryul, 2016) (Sánchez-Torres, Rodríguez-Rodríguez, Rico-Bautista, & Guerrero, 2018) y 4) aspectos relacionadas con las economías emergentes (Bleda, Jara, Maestre, Santa, & Gómez, 2012) (Byun, Kim, & Sa, 2016).

El IoT requiere reconocer los objetos inteligentes y mantener un flujo de mensajes constante entre los diferentes objetos (Jaehyeon, Mi-Seon, & Jae-Hyeon, 2016). Cada implementación de diferentes redes de sensores puede presentar diferentes problemas que son atendidos de manera diferente por cada aplicación (Naeem, Khan, & Shaikh, 2016). Un trabajo que se ha adelantado para mejorar la interconexión de objetos en IoT es realizar una arquitectura que soporte el paso de mensajes de los diferentes tipos de dispositivo y que sea capaz de responderles a través de nuevos protocolos como IPv6 (Jara, Moreno-Sanchez, Skarmeta, Varakliotis, & Kirstein, 2013) (Lobo & Rico-Bautista, 2012; Santos & Rico-bautista, 2007) que puede administrar grandes cantidades de objetos que se conectarán a internet (Rathore, Ahmad, Paul, & Rho, 2016).

3. Desarrollo de la experiencia

3.1. Maestría en Telemática.

La maestría en Telemática es un programa adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, y su nivel académico corresponde a estudios de posgrado. La modalidad de formación es presencial, con una duración de cuatro

semestres académicos. Según la codificación de las áreas del conocimiento establecidas en la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE), el campo general del Programa es Ingeniería, el campo amplio es Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), el campo detallado Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y, el campo específico es Diseño y administración de redes y bases de datos.

El Programa de Maestría en Telemática de la UNAB, reúne aspectos referentes a la fundamentación en redes, redes y gestión de redes, tendencias en el campo de la telemática, aspectos relacionados con el mercado de las telecomunicaciones e investigación en telemática para la propuesta de soluciones tecnológicas pertinentes y apropiadas a problemáticas y necesidades identificadas en el contexto regional y nacional, incluyendo IoT.

Entre las fortalezas y la experiencia de la Institución en el campo de la telemática, se destacan los siguientes aspectos: (i) Se cuenta con la Especialización en Telecomunicaciones, como principal fuente de insumo de estudiantes para la Maestría en Telemática; (ii) Para el desarrollo de la Maestría en Telemática está el Laboratorio de Telecomunicaciones (cuenta con equipos y software especializado para telecomunicaciones) y el Laboratorio de Telemática (espacio para las prácticas e investigaciones en temas relacionados con mediciones en Internet); (iii) El Programa cuenta con III Cohortes finalizadas (con un total de 26 graduados).

Actualmente, se encuentra en curso la Cohorte IV (2016-2018) con un total de siete estudiantes activos beneficiarios de las Becas del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT) y la Unab es sede del Nodo Oriente del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT), un tópico que es tendencia en el ámbito mundial en el campo de la telemática.

3.2. Doctorado en Ingeniería con enfoque hacia la innovación y el emprendimiento de base tecnológica

El Doctorado en Ingeniería, aporta nuevos elementos a este esquema de formación doctoral. Por una parte, se promueve la interacción cercana con el sector productivo y con organizaciones que han tenido experiencias significativas en procesos de transferencia tecnológica y emprendimiento de base tecnológica. Esto con el fin de conocer de primera mano las necesidades y oportunidades que ameritan una intervención de nivel de investigación doctoral. Es decir, estrategias para extraer de la sociedad los insumos necesarios para definir un problema de investigación doctoral, es un elemento que es promovido por el programa.

Es el primer doctorado en Ingeniería en red de Colombia aprobado por el Ministerio de Educación Nacional en enero de 2016, es un programa único en el país que permite articular las fortalezas de tres universidades con Acreditación Institucional de Alta Calidad pertenecientes a la Red Universitaria Mutis. Apoyados por la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA), el estudiante de doctorado tendrá al

alcance recursos humanos, bibliográficos y de laboratorios de las tres instituciones sin importar en cuál de ellas se encuentre.



Figura 1 – Valor del doctorado. Fuente: Doctorado en Ingeniería

Dentro de las fortalezas del programa de doctorado resaltan las siguientes:

- Un programa que forma doctores en Ingeniería con enfoque hacia la innovación y el emprendimiento de base tecnológica.
- Usando metodologías de creatividad, los estudiantes del doctorado tienen la posibilidad de desarrollar proyectos que tengan potencial innovador y que les permitan generar emprendimientos de base tecnológica, (ver figura 1).
- Un programa que suma fortalezas de tres universidades con acreditación institucional, es ofrecido por la Universidad Autónoma de Bucaramanga, la Universidad Autónoma de Manizales y la Universidad Autónoma de Occidente, con Acreditación de Alta Calidad y pertenecientes a la Red Universitaria Mutis.
- Los estudiantes del doctorado a través de los grupos de investigación de las universidades participantes en el programa abordan como objeto de estudio tres líneas de investigación que responden a tendencias mundiales y oportunidades regionales: Automática, Energía e Informática.
- Un programa que se apalanca en otras redes de colaboración La estrecha relación de los profesores del doctorado con colegas del orden nacional e internacional permitirá a los estudiantes realizar pasantías en universidades, empresas y centros de investigación reconocidos a nivel mundial.

El plan general de estudios del doctorado en Ingeniería está compuesto por 96 créditos académicos. Estos créditos corresponden a cursos que se ubican en tres grandes componentes de formación, (ver figura 2). El programa tiene una alta flexibilidad que permite que el estudiante organice su plan de estudios con la guía de su director de tesis.



Figura 2 – Plan de estudios por cursos. Fuente: Doctorado en Ingeniería

3.3.Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas

El Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT), (ver figura 3), es una alianza entre el estado colombiano, cinco universidades ubicadas en cuatro diferentes regiones del país, tres líderes tecnológicos mundiales y empresas privadas que encuentran oportunidades de desarrollo y competitividad en soluciones de Internet de las Cosas.

El Centro busca la apropiación y desarrollo de tecnologías IoT a través de la formación de capital humano a nivel de maestría y doctorado y la vinculación de investigadores posdoctorales y desarrolladores de alto nivel. Teniendo en cuenta las necesidades y oportunidades identificadas en los planes de desarrollo nacionales y regionales, el Centro ha establecido su acción alrededor de siete líneas de trabajo: Salud, Logística, Industria, Vestibles, Seguridad, Agroindustria y medio ambiente y Gobierno.



Figura 3 – Logo del CEA-IoT. Fuente: CEA-IoT

Siendo la primera iniciativa de esta naturaleza en el país, el CEA-IoT ha logrado integrar la academia, el sector productivo y el gobierno en una de las principales tendencias de desarrollo tecnológico para la competitividad global.

El lanzamiento se realizó el 5 de mayo de 2016, sobre las 7:30 a.m. Se contó con la asistencia de 22 empresarios representantes de los principales sectores estratégicos de agroindustria, salud, gobierno, logística, seguridad e industria, (ver Figura 4, parte a). Se realizaron algunas publicaciones de divulgación del evento en los principales medios de comunicación regional, tanto escritos como digitales, (ver Figura 4, parte b).



Figura 4 – Lanzamiento del CEA-IoT a).En la UNAB, b) Noticia Vanguardia Liberal

Para el año 2017, el primero de junio, se realizó el evento “Internet de las cosas y su impacto en los negocios: Nuevas oportunidades para la Innovación”, donde volvieron a participaron empresarios y representantes gubernamentales, (ver Figura 6).



Figura 6 – Showroom 2017. a) Poster publicitario b) Exposición del coordinador del CEA-IoT. c) Equipo organizador. Fuente: CEA-IoT.

Se establecieron lazos de cooperación con entidades del sector público y privado tales como la Alcaldía de Bucaramanga, Gobernación de Santander (específicamente con la Secretaría de TIC del Departamento), UNAB y CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga).

4. Resultados y productos generados

Gracias a las capacidades de los investigadores del centro, se han logrado el desarrollo de diferentes productos como:

- Sistema de monitorización de personas y activos (Io-Tracking)

Es un sistema de monitorización que, a través de dispositivos GPS, permite la toma de decisiones basadas en variables de posicionamiento global, (ver Figura 7). Genera

diferentes reportes sobre las rutas que se ha realizado, las cuales se visualizan en el mapa; información sobre los viajes realizados y una gráfica sobre la velocidad del vehículo. Visualiza desde un sitio de web la posición en tiempo real de personas y activos que se ésta monitorizando y permitir la rápida toma de decisiones para el beneficio de las organizaciones.

Io-Tracking tiene tres líneas de trabajo para atender diferentes necesidades de las organizaciones:

- ✓ Personal-Tracking para el seguimiento de personal que realiza labores en campo.
- ✓ Assets-Tracking permite el rastreo de cualquier objeto como vehículos, herramientas, maquinaria o cualquier objeto de valor para la organización o personal.
- ✓ Load-Tracking está orientado a la trazabilidad de vehículos de carga y transporte masivo, en el cual, se tienen en cuenta información sobre rutas, tiempo de marcha del vehículo y otra información que la organización considere relevante.

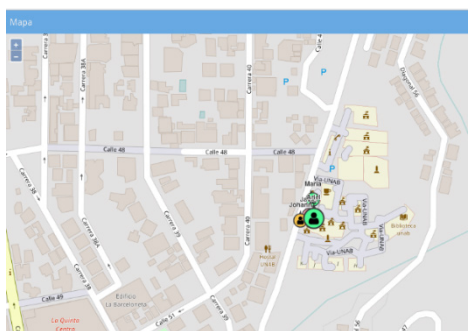


Figura 7 – Monitorización a través de dispositivos GPS. Fuente: CEA-IoT

• **Prototipo Domótica con IoT. (DoM-IoT)**

El proyecto, DOM IoT, es implementar un prototipo basado de la arquitectura de computación de borde, “Fog Computing” para la administración de dispositivos e infraestructura física y tecnológica, dentro de la sección 7-1 del edificio de Ingeniería de la UNAB, (ver Figura 8).

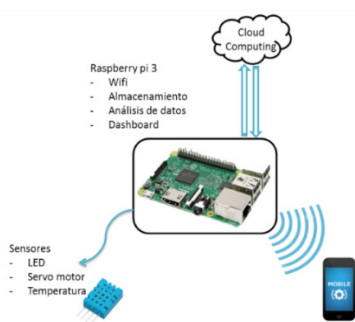


Figura 8 – Arquitectura Fog Computing con IoT Implementada. Fuente: CEA-IoT

El Fog computing, se define como una arquitectura para implementar procesos de computación en el borde de una red, la cual cuenta con capacidad para almacenar, controlar, configurar, medir, comunicar y administrar los datos, sin necesidad de salir a Internet. Actualmente, Fog Computing se perfila como una capa tecnología intermedia, que ayuda a la conexión de Internet de las Cosas (IoT) y elimina congestión de la computación en la nube generada por la cantidad de sensores y dispositivos que producen grandes volúmenes de datos, en especial los utilizados en los procesos. Por tal motivo se proyecta un prototipo en el cual busca una integración tecnológica utilizando servicios web, hardware controlado por software libre y la interconectividad entre los diversos componentes de software.

- **Gestor de Información Digital (GID)**

GID, es un sistema para gestionar información digital con arquitectura Cliente (pantallas) Servidor (administrador) que permite difundir información de todo tipo de formato, a través de pantallas digitales conectadas a internet gestionando la información en forma centralizada, en tiempo real y desde cualquier lugar, (ver Figura 9).



Figura 9 – a) Diagrama del sistema GID b) Dispositivo IoT. Fuente: CEA-IoT

- **Sistema de Gestión de Riego AgroRIEGO**

Con el fin de generar una herramienta que mejore la gestión de riego en cultivos, nace AgroRIEGO, una solución tecnológica para el sector agrícola que pretende apoyar la labor de riego, al recomendar al productor el momento y el lugar en el que debe suplir de agua a su cultivo. Es un sistema de monitorización de campo que reporta al celular, Tablet o computador del productor, información que le permite la toma de decisiones oportuna sobre riego. Proporcionando al productor una forma sencilla e inmediata para monitorizar el consumo de agua en su cultivo. La arquitectura conceptual del Sistema AgroRIEGO está constituida por cuatro componentes: i) Monitorización, ii) Decisión, iii) Configuración y iv) Visualización, (ver Figura 10). Cada componente está pensado

para ser implementado principalmente en un elemento hardware o un conjunto de elementos hardware del sistema.

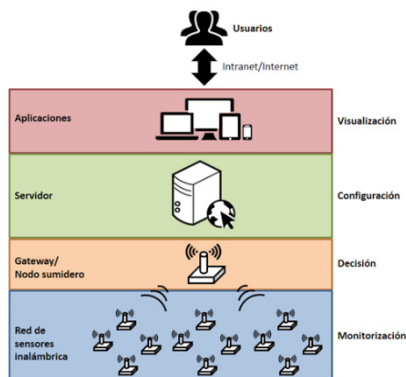


Figura 10 – Arquitectura conceptual de AgroRIEGO. Fuente: CEA-IoT

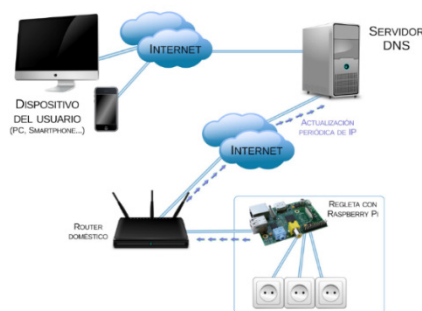


Figura 11 – Arquitectura del sistema. Fuente: CEA-IoT

• Sistema de control de acceso RFID

Este sistema consiste en un ordenador de placa única, para este caso Raspberry Pi 3, la cual hará uso de la tecnología RFID para llevar a cabo tareas como la gestión de verificación de usuarios y registro de ingresos al recinto en tiempo real. El usuario, por medio de una tarjeta RFID se autenticará y el sistema validará si tiene o no permiso para ingresar al lugar que se requiere el ingreso. Usando una plataforma Web, el administrador o la persona que estará a cargo del sistema, puede conceder o revocar permisos, vincular una nueva persona, eliminar una persona registrada en el sistema, ver el historial de acceso al lugar (en caso de que fuese más de una zona, podrá ver el acceso) junto con la hora y día. Como primera instancia, se pretende eliminar errores humanos en la toma de estos registros, debido a que sería un sistema automatizado, (ver Figura 11).

5. Discusión - análisis

Desde la UNAB, el componente académico se aporta a través de los programas Académico de Maestría en Telemática y Doctorado en Ingeniería los cuales han buscado que todo egresado tenga un desarrollo altamente satisfactorio en las áreas de tecnologías de la información y la comunicación, con elementos diferenciadores para llevar a cabo procesos de innovación tecnológica y proponer soluciones pertinentes y apropiadas a problemáticas del contexto colombiano.

El proceso de “smartificación”, tomado como no como un objetivo, sino como una forma de vida, un medio, un proceso continuo de mejora, supone un cambio de paradigma o modelo, mediante el cual se pretende afianzar el concepto de una universidad más abierta, y como consecuencia adaptar su modelo de gestión a los nuevos tiempos rediseñando sus relaciones entre los sectores público y privado, la relación con la comunidad universitaria, sus sinergias y sus ejes transversales donde todos los actores y sus infraestructuras deben coordinarse para un fin común: la sostenibilidad y calidad de vida. (Maciá, Berná, Sánchez, Lozano, & Fuster, 2017), (Rico-Bautista et al., 2019a).

Por tal razón es de vital importancia que cualquier universidad pueda y deba constituir, un punto de encuentro entre los distintos agentes económicos públicos y privados, propiciando un entorno donde las empresas, puedan debatir sobre distintas opciones, recibir apoyo científico y participar en proyectos novedosos. La UNAB, a través del CEA-IoT, son inspiradores e impulsores del crecimiento social en la región, siendo así un mediador que puede ofrecer esos escenarios de encuentro para la generación de conocimiento. (Maciá, Berná, Sánchez, Lozano, & Fuster, 2017)

6. Conclusiones

Esta relación entre industria y academia es lo que de manera conjunta trabajan los investigadores y los profesionales, utilizando experimentos, estudios de caso, entre otros, para generar una amplia variedad de iniciativas y servicios, con el fin de solucionar los problemas del contexto. (Maciá, Berná, Sánchez, Lozano, & Fuster, 2017)

El reto más importante para lograr una transferencia efectiva no es solo conseguir la colaboración con la unidad de I+D de la organización, sino que las propuestas sean asumidas por dicha organización y apoyar proyectos reales. (Genero, Cruz-Lemus, & Piattini, 2015)

Desde la experiencia se puede concluir que los factores críticos de éxito son: Involucrar a la dirección en el proyecto, habilidades del recurso humano, escoger temas de interés a la industria, abordar problemas reales de la industria, alinear los resultados con los objetivos de la industria, generación de nuevo conocimiento.

Referencias

- Airehrour, D., Gutierrez, J., & Ray, S. (2016). Secure routing for internet of things: A survey. *Journal Of Network And Computer Applications*, 66, 198–213. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.006>

- Aziz, B. (Enero de 2016). A formal model and analysis of an IoT protocol. *Ad Hoc Networks*, 36(1), 49-57. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2015.05.013>
- Baresi, L., Mottola, L., & Dustdar, S. (2015). Building Software for the Internet of Things. *IEEE Internet Computing*, 9(2), 6-8. Recuperado el 20 de septiembre de 2016
- Bleda, A., Jara, A., Maestre, R., Santa, G., & Gómez, A. (2012). Evaluation of the Impact of Furniture on Communications Performance for Ubiquitous Deployment of Wireless Sensor Networks in Smart Homes. *Sensors*, 2012, 6463-6496. doi:10.3390/s120506463
- Botella, P. (2001). La investigación en ingeniería de software en nuestro país, ¿Va bien? VI Jornadas de Ingeniería del software y bases de datos.
- Byun, J., Kim, S., & Sa, J. (2016). IoT(internet of things) based smart city services for the creative economy. *International Journal of Smart Home*, 10(7), 185-192. doi:<http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.7.19>
- Catriona, R., Gavin, R., & Jonathan, R. (2014). European Parliament. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de European Parliament: <http://www.europarl.europa.eu/studies>
- Danieletto, M., Bui, N., & Zorzi, M. (2014). RAZOR: A Compression and Classification Solution for the Internet of Things. *Sensors*, 2014, 68-94. doi:10.3390/s140100068
- Flauzac, O., Gonzalez, C., & Nolot, F. (2015). New Security Architecture for IoT Network. *Procedia Computer Science*, 52, 1028-1033. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.099>
- Genero, M., Cruz-Lemus, J., & Piattini, M. (2015). Métodos de investigación en ingeniería del software (Primera ed.). Bogotá, Colombia. Recuperado el 21 de Marzo de 2017
- Ghaleb, S., Subramaniam, S., & Zukarnain, Z. (2016). Mobility management for IoT: a survey. *EURASIP Journal On Wireless Communications & Networking*, 2016(1), 1-25. doi:10.1186/s13638-016-0659-4
- Guerrero, C. D., Parra-Valencia, J. A., & Rico-Bautista, D. (2017). IoT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. *Revista Ingenio UFPSO*, 13(1), 9-20.
- Hasan, S., & Curry, E. (2015). Thingsonomy: Tackling Variety in Internet of Things Events. *Building Internet of Things Software*, 2015, 10-19. Recuperado el 25 de septiembre de 2016
- Hurlburt, G., Voas, J., & Miller, K. (2012). The Internet of Things: A Reality Check. *Perspectives*, 2012, 56-59. Recuperado el 25 de septiembre de 2016
- Hussein, W., & Al-Hashimi, H. (2015). Security model in Internet of Things from Academic and Industry Perspectives. *Basrah Journal Of Agricultural Sciences*, 41(3), 91-97. Recuperado el 22 de septiembre de 2016

- Jaehyeon, J., Mi-Seon, K., & Jae-Hyeon, A. (2016). Prototyping Business Models for IoT Service. *Procedia Computer Science*, 91, 882-890. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.106>
- Jara, A., Moreno-Sanchez, P., Skarmeta, A., Varakliotis, S., & Kirstein, P. (2013). IPv6 Addressing Proxy: Mapping Native Addressing from Legacy Technologies and Devices to the Internet of Things (IPv6). *Sensors* 2013, 13, 6687-6712. doi:10.3390/s130506687
- Jin-ho, J., & Seung-Ryul, J. (2016). Designing a Crime-Prevention System by Converging Big Data and IoT. *Journal Of Korean Society For Internet Information*, 17(3), 115-128. doi:<http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2016.17.3.115>
- Li, s., Xu, L., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259. doi:10.1007/s10796-014-9492-7
- Lobo, J., & Rico-Bautista, D. (2012). Implementación de la seguridad del protocolo de internet versión 6. *Gerencia Tecnológica Informática*, 11(29), 35-46.
- Maciá, F., Berná, J., Sánchez, J., Lozano, I., & Fuster, A. (2017). Smart University. Hacia una universidad más abierta. Ciudad de México, México: Alfaomega. Recuperado el 28 de Marzo de 2017
- Maestre, G. (19 de Octubre de 2015). Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: una perspectiva centrada en las TIC. *INGENIARE*, 11(19), 137-149. Recuperado el 28 de Marzo de 2017
- Naeem, M., Khan, M., & Shaikh, M. (2016). Smart network communication using secure and smart internet of things and fog computing. *Science International*, 28(4), 3469-3474. Recuperado el 22 de septiembre de 2016
- Parnas, D. L. (1998). Software engineering programmes are not computer science programmes. *Annals of Software Engineering*, 6(1), 19-37. <https://doi.org/10.1023/A:1018949113292>
- Pathak, P. (2016). Internet of Things: A Look at Paradigm Shifting Applications and Challenges. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 7(2), 49-51. Recuperado el 26 de septiembre de 2016
- Rathore, M., Ahmad, A., Paul, A., & Rho, S. (2016). Urban planning and building smart cities based on the Internet of Things using Big Data analytics. *Computer Networks*, 2016, 63-80. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.023>
- Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Guerrero, C. D. (2019a). Smart University: A Review from the Educational and Technological View of Internet of Things. In P. M., F. C., & R. A. (Eds.), *International Conference on Information Technology and Systems, ICITS 2019* (Vol. 918, pp. 427-440). Systems and Informatics Department, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Algodonal Campus Vía Acolsure, Ocaña, 546551, Colombia: Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_42

- Rodríguez, J., Montenegro, C., & Cueva, J. (Julio de 2015). Introducción al internet de las cosas. *Revista Electrónica Redes De Ingeniería*, 6, 53-59. Recuperado el 19 de Septiembre de 2016
- Runeson, P. (2012). It takes two to tango - an experience report on industry - Academia collaboration. *Internacional Conference on Software Testing (ICST)*, (págs. 872-877).
- Sajjad, S., & Yousaf, M. (2016). Security analysis of internet of things adaptation layer. *Science International*, 28(4), 3311-3317. Recuperado el 23 de septiembre de 2016
- Sánchez-Torres, B., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Rico-Bautista, D., & Guerrero, C. D. (2018). Smart Campus: Trends in cybersecurity and future development. *Revista Facultad de Ingeniería*, 27(47). <https://doi.org/10.19053/01211129.v27.n47.2018.7808>
- Santos, L. M., & Rico-bautista, D. (2007). IPV6 en la Universidad de Pamplona: Estado del arte. *Scientia Et Technica*, XIII, 415-420. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903771>
- Stoces, M., Vanek, J., Masner, J., & Pavlík, J. (2016). Internet of Things (IoT) in Agriculture - Selected Aspects. *Agris On-Line Papers In Economics & Informatics*, 8(1), 83-88. doi:10.7160/aol.2016.080108
- Vongsingthong, S., & Smanchat, S. (2014). Internet of things: a review of applications and technologies. *Suranaree Journal Of Science & Technology*, 22(4), 359-374. Recuperado el 18 de septiembre de 2016
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Xu, L. (2015). The Internet of Things-A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 2015, 261-274. doi:10.1007/s10796-014-9489-2
- Won-jun , L. (2016). When the future technology is now: Paradoxical attitudes of consumer and evaluation of iot service. *International Journal of Smart Home*, 10(6), 115-126. doi:<http://dx.doi.org/10.14257/ijsh.2016.10.6.13>

Red de sensores de sistemas de posicionamiento global para la georreferenciación de puntos terrestres

Andrés Camilo Gonzalez¹, PhD Elvis Eduardo Gaona², MsC. Víctor Daniel Angulo³

acgonzalezh@correo.udistrital.edu.co, egaona@udistrital.edu.co,
vdangulom@udistrital.edu.co

¹ universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

² doctorado en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

³ doctorado en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

Pages: 629–641

Resumen: Las redes de sensores son ampliamente utilizadas actualmente en muchos ambientes para la recolección de información, siendo LoRa una de las principales tecnologías utilizadas para redes LPWAN donde se busca tener grandes áreas de cobertura, basados en la modulación LoRa y con el protocolo handshake se estableció una red que permite la centralización de la información en un nodo de la red que el usuario puede designar según su conveniencia, esto con el fin de darle al usuario más control sobre la información presente en la red.

Palabras-clave: LoRa; WSN; LPWAN; handshaking

Global positioning system sensor network for georeferencing land points

Abstract: Sensor networks are currently widely used in many environments for the collection of information, LoRa being one of the main technologies used for LPWAN networks where large areas of coverage are sought, we use LoRa modulation with the handshake protocol to create a network that allows the centralization of the information in a node that the user can design at his convenience, this in order to give the user more control over the information present on the network.

Keywords: LoRa; WSN; LPWAN; handshaking.

1. Introducción

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consiste de dispositivos autónomos distribuidos espacialmente que usan sensores para monitorear cooperativamente el entorno físico o ambiental, condiciones tales como temperatura, sonido, vibración, presión, movimiento o contaminantes, en diferentes lugares. Hay

muchas aplicaciones potenciales para WSN (Akyildiz,2002) Podrían ser utilizados en aplicaciones comerciales e industriales. Aplicaciones para monitorear datos que serían difíciles o costosos de monitorear usando sensores cableados. Ellos podrían ser utilizados para monitorear situaciones en algunos entornos peligrosos, como en plantas de energía nuclear, como también en áreas silvestres, donde permanecerían en funcionamiento durante muchos años (monitoreo algunas variables ambientales) sin la necesidad de recargar / reemplazar sus fuentes de alimentación entre otras aplicaciones, entre las principales características de una red de sensores se encuentran:

- Baja transmisión de datos
- Bajo Consumo de energía
- Escalabilidad

Los nodos sensores son unidades pequeñas conformadas por microcontroladores, módulo de comunicaciones, módulo de energía, sensores y en algunos casos poseen actuadores para interactuar con el entorno, este nodo tiene como principal función recolectar y enviar los datos recolectados hacia otro punto. Estos nodos pueden estar equipados con diferentes sensores para medir diferentes variables físicas entre las cuales encontramos temperatura, humedad, presión entre otras, como también incluir actuadores para interactuar con el medio ya sea para generar alertas o activar mecanismos (Sohraby,2007).

Para abarcar grandes extensiones de terreno se utilizan redes de baja potencia conocidas como LPWAN (Low Power Wide Area Network) que son orientadas a ocupar largas distancias operando en bandas libres ISM, son bandas de radio reservadas internacionalmente para el uso de energía de radiofrecuencia (RF) para fines industriales, científicos y médicos distintos de las telecomunicaciones, generalmente usan modulación de espectro expandido con la posibilidad de conectarse a largas distancia alcanzando los kilómetros en algunos casos.

La tecnología LPWAN está creada para funcionar máquina a máquina (M2M) e internet de las cosas (IoT), las LPWAN funcionan a un costo menor con una mayor eficiencia energética que las redes móviles tradicionales. También son capaces de soportar un mayor número de dispositivos conectados en un área más grande, LPWAN no es una tecnología única, sino un grupo de varias tecnologías de red de área amplia de baja potencia que toman muchas formas y formas (Krupka,2016) Las LPWAN generalmente se usan para obtener datos en grandes áreas y entregarlos a un punto central donde un usuario puede ver y procesar para obtener la información deseada (Pham,2017) una de las LPWAN más utilizado en todo el mundo es LoRaWAN y SigFox.

La modulación LoRa (Long Range) desarrollada por Semtech basada en una variante de la modulación de espectro expandido llamada espectro extendido de chirp, diseñado para tener coberturas hasta 40 km en entornos rurales libres de interferencias y hasta 10 km en entornos urbanos usada para la comunicación LoRaWAN que es una de las representantes de la tecnología LPWAN.

Este artículo se desarrolló un LPWAN basado en modulación LoRa, en la primera sección se muestran algunos proyectos que usaron LPWAN y sus diversas aplicaciones, en la segunda sección se hablara sobre la modulación LoRa y sus características, luego los dispositivos que se utilizaron para crear los nodos y el proceso a seguir para el establecimiento de la red que permite al usuario obtener datos desde un punto cualquiera de la red basada en una red en estrella.

Las redes WAN de baja potencia conocidas como LPWAN son la mejor base para que las aplicaciones M2M e Internet of Things (IoT) desarrollen todo su potencial. Actualmente, ambos entornos tienen limitaciones debido a la inversión necesaria, así como a cuestiones relacionadas con la distancia de la fuente de energía. Las redes LPWAN parecen resolver estos problemas al ofrecer un bajo consumo de energía, un costo reducido y un largo alcance, estas redes hacen posible que miles de sensores recopilen y envíen datos a menor costo, mayor alcance y con una mejor duración de la batería. Otras opciones de conectividad entre sus aplicaciones encontramos:

En Irlanda basado en uno de los principales problemas de transmisión de datos basadas en LoRa, como lo son las colisiones debido al protocolo ALOHA por lo cual enviar un gran volumen de paquetes no es factible para este modelo de comunicación como se muestra en (Zorbas, D,2019), en el cual se plantea dos algoritmos de programación fuera de línea para transmisiones de datos basadas en LoRa. Ambos enfoques asignan un SF a los nodos con el objetivo de minimizar el tiempo total de recolección de datos.

En el grupo de investigación GITUD de la universidad distrital francisco José de caldas (Gaona-García,2018), se realizó un proyecto en el cual se realiza el control sobre redes eléctricas basados en nodos con raspberry pi 3 que permite realizar tanto la gestión de la red de sensores implementados como afectar directamente la red eléctrica desactivando u activando cargas en esta.

En la Universidad del Distrito, los módulos LoRa se utilizan para la comunicación entre nodos que generan una red de sensores en dos ríos para monitorear el agua tibia (EC, pH, TDS, T)(Ordoñez, B,2017), en donde su utilizaron dos nodos y un Gateway para el monitoreo, entre los principales problemas que surgen debido al acoplamiento de impedancia de las antenas, también como la necesidad de antenas de alta potencia para cubrir la tierra a gran distancia

En la sección 2 del presente documento se presentará un breve repaso sobre LoRa y sus diversas características, en la sección 3 se presentará el modelo de red a implementar y la experimentación realizada, en la sección 4 se mostrarán los resultados de los experimentos y su respectivo análisis y por último en la sección 5 conclusiones.

2. LoRa

LoRaWAN define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema de la red, mientras que la capa física LoRa® permite cancelar el enlace de comunicación a largo plazo. El protocolo y la arquitectura de la red tienen la mayor influencia en la determinación de la vida útil de la batería de un nodo, la capacidad de la red, la calidad del servicio, seguridad y la variedad de aplicaciones en toda la red. (Lora Alliance,2015)

LoRa es la capa física utilizada para crear enlaces de comunicaciones a larga distancia. Muchos sistemas usan modulación FSK porque es muy eficiente para baja potencia. LoRa utiliza CSS, que es una modulación que mantiene las mismas características de FSK de baja potencia, pero aumenta el rango de distancia de comunicación. Otras características de la modulación LoRa se muestran en la tabla 1.

Muchas redes desplegadas existentes utilizan una arquitectura de red en malla. En una red de malla, al final de los nodos individuales se transmitirá la información de otros

nodos para aumentar el tamaño del rango de comunicación y la celda de la red. Sí, bueno, esto aumenta el alcance, pero también agrega complejidad, reduce la capacidad de la red y la duración de la batería de los nodos.

En una red en estrella es la forma más común de topología de red para nodos de punto final con restricción de potencia y es relativamente simple de implementar. Normalmente, un coordinador central o concentrador actúa como el conducto para todo el tráfico de red. Todas las transmisiones de red se enrutan a través del coordinador central.

Una topología de red en estrella ayuda a minimizar la cantidad de tráfico de red. Para una red que no está limitada por enlaces, solo 3 dispositivos y dos enlaces están involucrados en cualquier comunicación entre dos nodos. En los nodos de adición están aislados unos de otros y proporcionan facilidad para reemplazar los nodos. Centralización permite la inspección de todo el tráfico de red en un solo punto.

Una desventaja de esta topología es que la falla del coordinador deshabilitará todas las comunicaciones de red

Modulación	BW	Max Rate Bits	Comunicación	Longitud de Trama	Rango
LoRa	125 KHz	50 kbps	Half-Duplex	12 bytes (UL)	15 km Urbano
FSK	250 KHz			8 bytes (DL)	40 km Rural

Tabla 1 – Descripción general de las tecnologías LPWAN: (Smetch,2015)

La modulación LoRa proporciona alternativas para la comunicación de espectro expandido que son de baja potencia y bajo costo en comparación con la técnica convencional de espectro expandido. La modulación LoRa utiliza la señal chirp, que es una señal con una frecuencia que varía con el tiempo (Ordoñez, B,2017) (Kais Mekki,2019). Al utilizar este método, se reducirá la complejidad para el lado del receptor. La señal de salida de esta modulación coincide con el ancho de banda utilizado por la señal chirp.

2.1. Características

Una modulación LoRa típica proporciona cinco parámetros de configuración: potencia de transmisión (TP), frecuencia portadora (CF), Factor de dispersión (SF), ancho de banda (BW) y tasa de codificación (CR). Consumo de energía, rango de transmisión y resistencia al ruido está determinado por la selección de estos parámetros como se muestra en la figura 1.

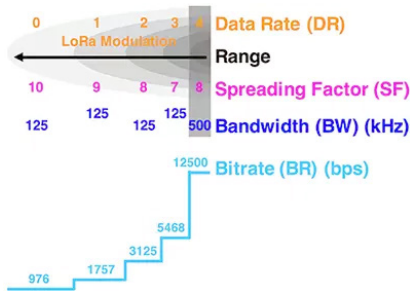


Figura 1 – Modulación LoRa en función de sus parámetros. (Fuente: Microchip Technology)

a) Símbolo: Como se discutió anteriormente, LoRa es una modulación de chirp de espectro extendido. Los datos transmitidos, que es un símbolo, estarán representados por una señal chirp con un rango de frecuencia. En la modulación LoRa, se puede configurar el símbolo cambiando los parámetros de Factor de dispersión (SF) y Ancho de banda. De acuerdo con (Smetch,2015), un símbolo tomará TS por segundo para transmitir como se muestra en la ecuación 1, que es una función del ancho de banda (BW) y el factor de dispersión (SF) se puede mostrar con:

$$TS = 2^{SF} / BW \quad (1)$$

b) Factor de dispersión (SF): SF es la relación entre la velocidad de símbolo y la velocidad de chip. Un mayor factor de propagación aumenta la relación señal / ruido (SNR) y, por lo tanto, la sensibilidad y rango, pero también aumenta el tiempo de aire del paquete. El número de chips por símbolo se calcula como 2SF. Por ejemplo, con un SF de 12 (SF12) se usan 4096 chips / símbolos.

Cada aumento en SF reduce a la mitad la velocidad de transmisión y, por lo tanto, duplica la duración de la transmisión y, en última instancia, el consumo de energía para el caso se puede presentar variaciones de SF entre 6 y 12.

c) Tasa de codificación (CR): La Tasa de codificación es la tasa de FEC utilizada por LoRa módem que ofrece protección contra explosiones de interferencia, y se puede configurar en 4/5, 4/6, 4/7 o 4/8. Un mayor CR Ofrece más protección, pero aumenta el tiempo en el aire.

d) Tiempo al aire: Una consecuencia importante del uso de un factor de dispersión más alto para LoRa es un mayor tiempo en el aire. El módulo LoRa Radio necesita más tiempo para enviar la misma cantidad de datos. Esto significa que el consumo de energía aumenta al aumentar el Factor de difusión.

Base en el espectro extendido LoRa la velocidad de bits nominal de las señales de datos como se muestra en la ecuación 2 y la velocidad de chip se puede definir como se muestra en la ecuación (3) (Smetch, 2015)

$$R_b = SF * \left(\frac{\frac{4}{4+CR}}{2^{SF}} \right) = SF * \left(\frac{\frac{4}{4+CR}}{2^{SF}} \right) \quad (2)$$

$$R_c = \frac{BW}{2^{SF}} * 2^{SF} = BW \text{ chips/sec} \quad (3)$$

3. Arquitectura de Red Basada En LoRa

En esta sección, se muestra el diseño, implementación y experimentación de una red basada en LoRa que permite a cualquier punto de la red tener la función de cómo un punto central de la red que recopila toda la información en esta, basados en el protocolo Handshaking donde se establece la conexión entre dos puntos, se plantearon dos actores

de la red siendo una maestro (M) y el otro esclavo (S), para la presente red se tiene 3 nodos en los cuales se varía el nodo M entre dos de los tres nodos, se realizan pruebas para diferentes factores de dispersión (SF) y distancias para verificar el funcionamiento de la red.

A continuación, se presentan los dispositivos utilizados para la creación de los nodos, la arquitectura de red plateada basada en handshaking, una explicación más detallada de cómo se realizaron los experimentos.

3.1. Hardware Utilizado

Para la implementación de los nodos se utilizaron diferentes dispositivos y teniendo en cuenta que se utilizara solo para verificar la funcionalidad de la red, los nodos contaban con un microcontrolador (Raspberry pi zero Wireless), modo de comunicaciones (SX1272) y una batería. Como se muestran a continuación:

a) SX1272: El módulo de comunicaciones Semtech SX1272 LoRa® Mbed Enabled Shield combina el transceptor de largo alcance de baja potencia Semtech SX1272 con la plataforma de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) Armbid Mbed. El transceptor SX1272 montado en el escudo proporciona modulación LoRa de alto rendimiento, así como modulación FSK / OOK.

El SX1272 Shield mostrado en la figura 2 se controla a través del bus SPI a una velocidad máxima de 10 Mbps. También posee conexiones I2C y el UART, de modo que se pueden conectar una variedad de sensores al escudo, o permitir el control a larga distancia de ellos.

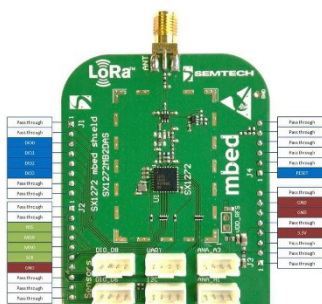


Figura 2 – Semtech SX1272 LoRa® Mbed Enabled Shield

b) Raspberry Pi Zero Wireless: Una Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida diseñado (SBC), Esto quiere decir que las SBC son placas que contienen todos o la mayor parte de los componentes de una computadora normal y corriente, pero estos están todos integrados dentro de la misma placa base, la Raspberry Pi Zero W que se muestra en la figura 3, lanzado a finales de febrero de 2017, el Raspberry Pi Zero W, que posee las siguientes características:

- LAN inalámbrica 802.11 b / g / n
- CPU de un solo núcleo de 1 GHz

- 512 MB de RAM
- Mini HDMI y Puerto USB On-The-Go
- Micro USB de alimentación
- Cabezal de 40 pines compatible con HAT
- Video compuesto y encabezados de reinicio
- Conector de cámara CSI



Figura 3 – Raspberry Pi Zero W

Para el acople del módulo SX1272 y el microcontrolador raspberry pi se requirió un puente de para el acople de estos, y controlado por medio le librería arduPi, en la figura 4 se observa la implementación física del nodo con excepción de la fuente de poder.

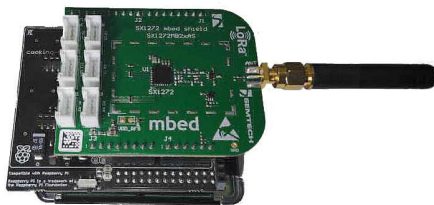


Figura 4 – Nodo de red (SX1272+Raspberry pi + Puente)

3.2.Arquitectura de red

El protocolo de comunicación handshaking de enlace es un proceso automatizado que establece parámetros para la comunicación entre dos dispositivos diferentes antes de que comience la comunicación normal. Al igual que la forma en que un apretón de manos humano prepara el escenario para que la comunicación siga, el apretón de manos informático proporciona a ambos dispositivos las reglas básicas para la forma en que los datos deben compartirse entre ellos. Estas reglas pueden incluir velocidad de transferencia, alfabeto de codificación, paridad, procedimiento de interrupción y más.

Una vez que se completa el protocolo de handshake, los datos de la aplicación pueden comenzar a fluir entre un cliente y el servidor. El cliente puede enviar un paquete de datos inmediatamente después del paquete ACK, y el servidor debe esperar el ACK antes de que pueda enviar cualquier dato. Este proceso de inicio se aplica a todas las conexiones TCP y conlleva una implicación importante para el rendimiento de todas las aplicaciones

de red que utilizan TCP: cada nueva conexión tendrá una vuelta completa de latencia antes de que se puedan transferir los datos de la aplicación (cooking-hacks, 2014).

La figura 5 muestra esquemáticamente la red inalámbrica propuesta para los experimentos donde cada nodo M, S posee los elementos descritos anteriormente, en el lado izquierdo de la imagen se muestra un estado inicial de la red en la cual el nodo maestro (M) se encarga de establecer una comunicación por medio del protocolo handshaking con el primer nodo esclavo ubicado su izquierda que sería el camino 1 presentado en la imagen donde se establece la comunicación, posteriormente el nodo S regresa la información que tenga disponible para enviar al nodo M, cuando M recibe la información del primer nodo S da por termina esta comunicación y pasa a preguntar al siguiente nodo en la red que para este caso sería el nodo S ubicado en la izquierda.

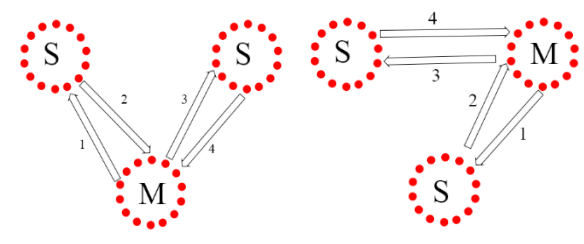


Figura 5 – Topología de la red de comunicaciones.

Cuando el nodo M pregunta al nodo S en el lado derecho este le pide ser el nuevo maestro de la red lo cual nos lleva a un segundo estado de la red en el cual el nodo M cambia, y este nuevo nodo M realiza la misma acción de establecer comunicación basada en Handshaking, esto permite que cualquier nodo de la red se pueda comportar como un punto central de la red donde se concentra toda la información.

3.3. Diseño e Implementación

Se propone que cada nodo de la red pueda ser un punto central que designe desde qué nodo desea solicitar la información mediante handshaking, estableciendo comunicación M2M entre los nodos M y S, de tal forma que toda la información pueda llegar a un punto, para establecer el cambio de M en la red se simulo la conexión de un usuario que solicita desde un nodo S el control de la red.

La topología de la red se basará en la comunicación M2M donde un nodo central M se encargará de establecer las comunicaciones en la red, generando así una red como se muestra en la figura 5, para hacer la red se utilizó el módulo SX1272, que se conecta mediante una puente con la computadora de placa reducida raspberry pi zero wireless, ya que el módulo SX1272 tiene conexiones I2C y SPI entre otros de fácil acceso en caso de requerir conectar sensores ya sea para medir temperatura, presión posición, etc. o el control de dispositivos en el lugar del nodo.

Para establecer la comunicación entre los nodos su utilizo una librería diseñada para el módulo SX1272, en la cual se permiten variar los parámetros vistos en las ecuaciones (2) y (3), para lo cual se establecieron los siguientes parámetros: una frecuencia de portadora de 915 MHz, BW de 500 KHz y CR de 4/5.

Para lo comunicación al momento de que el nodo M realiza pregunta sobre la existencia del nodo por medio de una confirmación en forma de ACK que verifica el funcionamiento del nodo S, ya establecida una comunicación entre los dos nodos S envía la información, de igual manera el nodo M confirma el recibir la información por medio de un ACK, la información que se envió para el correspondía al estado del módulo SX1272 siendo paquetes enviados, paquetes recibidos y tiempos de envío de los paquetes desde que el nodo M pregunta hasta que regresa el ACK al nodo S, el nodo M recibe esta información y lo guarda en un archivo correspondiente al nodo que se usara para un posterior análisis.

Se plantearon dos experimentos para observar la funcionalidad de la red, en los cuales se rotará entre los dos de los tres nodos disponibles en la red de manera autónomo el nodo maestro de esta, dejando un nodo siempre fijo en modo esclavo simulando así la interacción de un usuario sobre los nodos esta variación se realizará cada 50 paquetes de información enviados.

En el primer experimento se tomó un SF de 7 teniendo así una red con tiempos al aire cortos y un corto alcance de la red, como se observa en la figura 6 el nodo 1 y 2 de la red se encuentra a una distancia aproximada de 100 m, y se ubica un tercer nodo a una distancia inicial de 200 m y en un segundo momento a 400 m de los nodos 1 y 2 como se ilustra en la imagen 7 en la parte derecha, se realizara un experimento similar cambiando el SF de la red a 9 para hacer una comparación entre estos dos resultados y como el ambiente afecta el desempeño de la red al modificar uno de sus parámetros.



Figura 6 – A) Ubicación Geográfica B) Distancia aproximada entre nodos

Las pruebas se realizaron una un ambiente rural como se muestra en la figura 7, en la parte izquierda de la imagen se aprecia la ubicación real de los nodos sobre el terreno, como se observa no hay una línea de visión directa entre los nodos en las posibles conexiones que se puedan presentar en la red, siempre se presenta obstrucción por los árboles en el camino.

4. Resultados

Para los resultados presentados se realizó la medición de los tiempos que se requieren para el envío de paquetes entre el nodo maestro(M) y esclavo(S), y la cantidad de paquetes recibidos y enviados por cada nodo, el tiempo empleado por el nodo maestro para recorrer los otros nodos todos los nodos de la red, se tomó la cantidad de paquetes como la cantidad de veces que un nodo maestro logro establecer comunicación con un nodo esclavo y la cantidad de paquetes perdidos cuando el nodo esclavo no retorna la información cuando ya se ha establecido la comunicación.

En las Figuras 7 y 8 se presenta los datos obtenido con un SF de 7 y SF de 9 donde se varia las distancias del nodo 3 entre 200 m y 400 m, observando los tiempos empleados para la trasmisión de datos entre dos nodos M, S. Para el caso de SF de 7 como se muestra en la figura 7, en el caso donde el nodo maestro es N1 se presenta tiempos de trasmisión con el nodo N2 cercanos a 2.121 segundos con una variación no mayor a 0.011 segundos, el intercambio de paquetes que se presenta entre los nodos 1 y 3 en una distancia de 200 m no presenta cambios significativos en los tiempos para el envío de información cercanos a 0.005 segundos, en cambio para la distancia de 400 m se presentó una diferencia de tiempo 5,29 % en promedio.

En la figura 9 se presenta un comportamiento muy similar al descrito para la figura 7, en 200 m no se presentan variaciones de tiempo apreciables en base al promedio, para 400 m se presenta una variación de los tiempos requeridos por la red para en envío de paquete principalmente cunado se interactúa con el nodo 3 de la red con una variación de 1.16% respecto al presentado con un SF de 7.

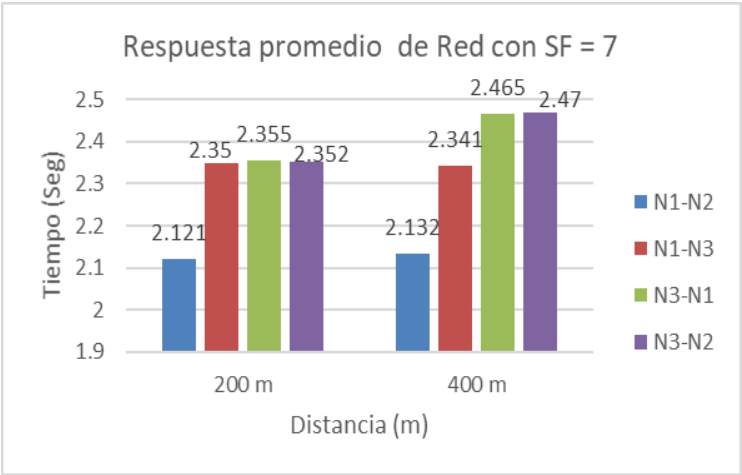


Figura 7 – Respuesta de la red con SF de 7 en 200 m y 400 m

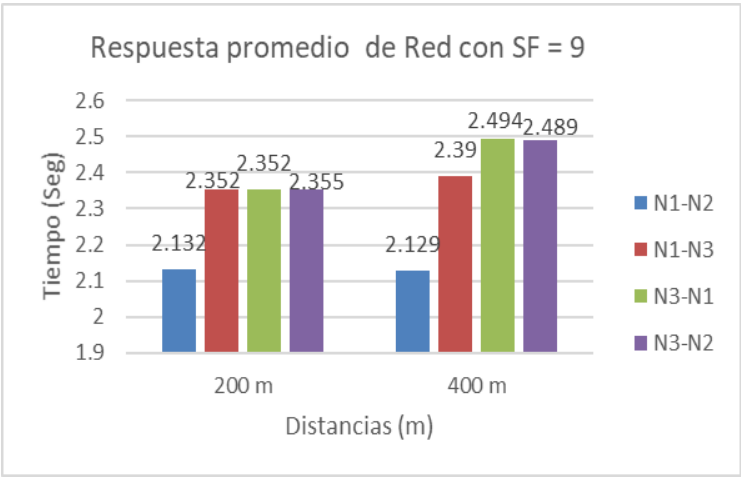


Figura 8 – Respuesta de la red con SF de 9 en 200 m y 400 m

En la figura 9 se presentan los paquetes perdido en la transmisión de datos, en la comunicación ente los nodos 1 y 2 no se presentó en ninguno de los experimentos una pérdida de paquetes, con un SF de 9 y una distancia de 400 m se presenta un error del 8% de los paquetes que se envían entre los nodos 1 , 3 y presentándose un error de 6% entre los nodos 2 , 3 para esta distancia, siendo este experimento el que presento mayores porcentajes de error en la transmisión de datos, para la distancia de 200 m se presenta la menor cantidad de errores con cualquiera de los dos SF utilizados para el experimentos, siendo un SF de 9 donde hay mayor posibilidad de que se presente un error en la comunicación .

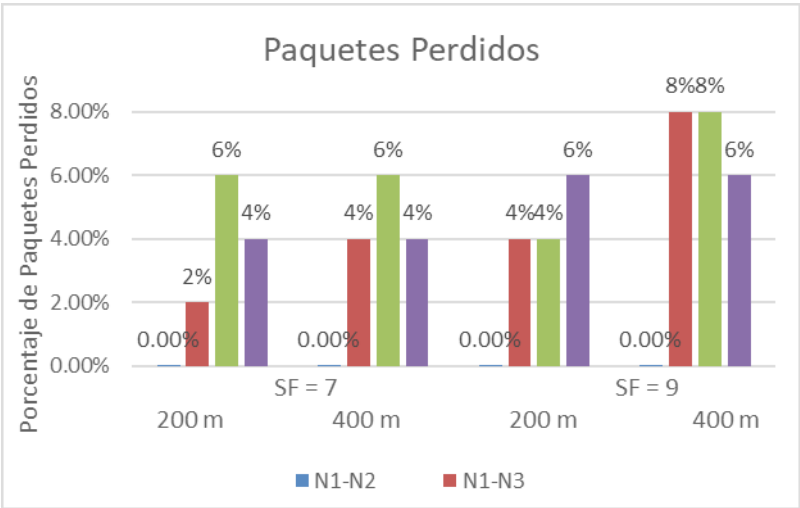


Figura 9 – Porcentaje de paquetes perdidos

5. Conclusiones y trabajos futuros

Como se observan en esta topología de red se presentan variaciones en la confiabilidad y tiempos de la red al tener variaciones en el SF, al aumentar el SF se aumenta el tiempo al aire de la transmisión, así como la posibilidad que no se complete el envío de paquetes, como se observó en la figura 9 donde con un mayor SF se presentaron mayores errores independiente de la distancia donde se realizó el experimento.

Al implementar esta topología de red permite un usuario que se conecte a la red desde cualquier punto y para obtener la información de toda la red, en base a los datos adquiridos se observa que es posible implementar este tipo de red teniendo tiempos de respuesta de algunos segundos, esto no presenta problema ya que la mayoría de los sensores no presentan grandes variaciones en los valores.

A medida que se aumenten los nodos de la red se aumentara en una proporción de igual magnitud le tiempo de que requiere un nodo M para recibir toda la información de la red, los errores que se pueden presentar en la comunicación de la red están estrechamente relacionados con el medioambiente en el que se desarrollan las pruebas, y la distancias entre los nodos, ya que como observo en los datos a una mayor distancia se presentaron un mayor porcentaje de error en la transmisión de paquetes.

Para entender mejor el funcionamiento de la red se planetaria realizar pruebas con mayores distancias y un mayor envío de paquetes, ya que en el presente caso se alcanzaron errores del 8% que representan errores en solo 4 paquetes de 50 que se enviaron entre los nodos.

Referencias

- Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8):102–114, 2002.
- Sohraby, Kazem, Daniel Minoli, and Taieb Znati. (2007) .Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications. John Wiley & Sons,
- Krupka, L., Vojtech, L., & Neruda, M. (2016, December). The issue of LPWAN technology coexistence in IoT environment. In 2016 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME) (pp. 1-8). IEEE.
- Pham, C., Ferrero, F., Diop, M., Lizzi, L., Dieng, O., & Thiaré, O. (2017, June). Low-cost antenna technology for LPWAN IoT in rural applications. In 2017 7th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI) (pp. 121-126). IEEE.
- Zorbas, D., Abdefadeel, K. Q., Cionca, V., Pesch, D., & O'Flynn, B. (2019, April). Offline scheduling algorithms for time-slotted lora-based bulk data transmission. In the IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT). IEEE (pp. 1-6).
- Gaona-García, E., Palechor-Mopán, S., Murcia-Sierra, L., & Gaona-García, P. (2018, October). Implementation of the AODV Routing Protocol for Message Notification in a Wireless Sensor Microgrid. In Workshop on Engineering Applications (pp. 357-369). Springer, Cham.

- Ordoñez, B., & Yamiith, C. (2017). Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos LPWAN Mediante Módulos LoRa para el Monitoreo de la Calidad del Agua en 2 Ríos (Tesis de Pregrado en Ingeniería electrónica) Facultad de Ingeniería, Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá
- Lora Alliance. (2015). A technical overview of LoRa and LoRaWAN, tomado de <https://www.lora-alliance.org/portals/o/documents/whitepapers/lorawan101.pdf>.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT express*, 5(1),
- Smetch. (2015, May) LoRa™ Modulation Basics, Application Note, Smetch
- cooking-hacks., A.A. (2014). Extreme Range Links: LoRa 868 / 900MHz SX1272 LoRa module for Arduino Wasp mote and Raspberry Pi [Internet]. Retrieved from <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/extreme-range-lora-sx1272-module-shield-arduino-raspberry-pi-intel-galileo>

Explorando antecedentes y consecuencias del Éxito de los Sistemas de Información sobre el Recurso Humano en Establecimientos Educativos

Sergio Araya-Guzmán¹, Patricio Ramírez-Correa², Margarita Chiang Vega¹,
Jorge Alfaro-Pérez²

saraya@ubiobio.cl, patricio.ramirez@ucn.cl, mchiang@ubiobio.cl, jalfaro@ucn.cl

¹ Universidad del Bío-Bío, avenida Collao 1202, 4051381, Concepción, Chile.

² Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, 1781421, Coquimbo, Chile.

Pages: 642–653

Resumen: Este estudio tiene como objetivo determinar si la administración afecta al éxito de los sistemas de información de apoyo la gestión, y si este éxito incide en la satisfacción y el compromiso laboral, en establecimientos educativos de nivel primario y secundario. Para este propósito se aplicaron encuestas a informantes claves sobre los sistemas de información disponibles para la gestión en sus instituciones en Chile. Los resultados del análisis con ecuaciones estructurales señalan que existe una relación positiva entre las variables estudiadas, presentando el éxito de los sistemas de información una incidencia mayor en la satisfacción laboral que en el compromiso laboral.

Palabras-clave: Sistemas de Información, Satisfacción Laboral, Compromiso Laboral, Establecimientos Educativos.

Exploring the background and consequences of the success of Information Systems on the Human Resource in Educational Establishments

Abstract: This study aims to determine if the administration affects the success of management support information systems and if this success affects job satisfaction and commitment, in primary and secondary level educational establishments. For this purpose, were applied surveys to “key informants” about the information systems available for management in their institutions in Chile. The results of the analysis with structural equations indicate that there is a positive relationship between the variables studied, presenting the success of the information systems a higher incidence in job satisfaction than in work commitment.

Keywords: Information Systems, Job Satisfaction, Work Commitment, Educational Establishments.

1. Introducción

Los Sistemas de Información (SI) son utilizados en todo tipo de organizaciones y por personas de todos los niveles organizativos, las que esperan que estos sistemas satisfagan sus requerimientos, traducándose en una satisfacción del usuario, lo que constituye un factor clave para el éxito de los SI.

El éxito de los SI puede ser medido a través de distintas variables. El modelo de DeLone y McLean (DeLone & McLean, 2003), por ejemplo, efectúa una medición de dicho éxito por medio de seis variables: calidad de la información, calidad del sistema, calidad del servicio, uso/utilidad, beneficios netos y satisfacción del usuario. Estas variables se relacionan directamente con el efecto que estos sistemas pueden tener en el desarrollo de las tareas y actividades de sus usuarios, afectando la percepción de estos sobre aspectos relacionados con su trabajo y, por lo tanto, con las características de la organización, incidiendo en su actitud y comportamiento, los que se relacionan directamente con la satisfacción y compromiso laboral de las personas (Sánchez et al., 2013).

Los Sistemas de Información (SI) son utilizados en todo tipo de organizaciones, siendo los establecimientos educativos un tipo de ellas. Los estudios sobre la utilización de los sistemas de información en estas organizaciones se han preocupado, principalmente, de aspectos pedagógicos y de aprendizaje, y en menor medida sobre el rol de la dirección (Sosa & Valverde, 2015), mientras que estudios como el de Vanderlinde, Dexter y Van Braak (Vanderlinde, Dexter & Van Braak, 2012), han otorgado importancia al rol de la dirección existente en un centro educativo para la integración de los sistemas y tecnologías de información al interior de estas organizaciones.

En este contexto, este estudio busca establecer si la administración afecta al éxito de los sistemas de información utilizados en los procesos de gestión, y si este éxito presenta una incidencia en la satisfacción y compromiso laboral de las personas, en establecimientos educativos de enseñanza primaria y secundaria.

2. Antecedentes e hipótesis de investigación

Los SI pueden otorgar a las organizaciones oportunidades de éxito, ya que poseen la capacidad de reunir, procesar, distribuir y compartir datos en forma oportuna y de manera integrada (Abrego, Sánchez & Medina, 2017), justificando su incorporación por su capacidad de generar información que puede contribuir a mejorar los procesos de toma de decisiones y por lo tanto la competitividad y rendimiento organizativo (Medina, Lavín & Pedraza, 2012).

Los usuarios de SI esperan que estas herramientas satisfagan sus requerimientos, siendo esta satisfacción del usuario final un factor clave para el éxito de los SI, contribuyendo con ello al alcance de los resultados esperados (Calderón & Rodríguez, 2010).

Este éxito de los SI puede ser medido por diversas variables (DeLone & McLean, 2003; Calderón & Rodríguez, 2010; Ayala, 2012), siendo el modelo de DeLone y McLean (DeLone & McLean, 2003) uno de los más referenciados (Ramírez & García, 2005; Ayala, 2012; Calderón & Rodríguez, 2010), donde dicha medición se lleva a cabo por

seis variables: Calidad de la información, Calidad del sistema, Calidad del servicio, uso/ utilidad, Beneficios netos y Satisfacción del usuario. En relación a esta última variable Medina, García & De la Garza (2009) señalan que la satisfacción del usuario con los SI es importante por sus efectos potenciales en las metas de la organización, su calidad de vida en el trabajo y la voluntad de utilizar dichos sistemas.

Luego, la percepción que los usuarios pueden presentar de los SI podría afectar la percepción que tienen sobre aspectos relacionados con su trabajo y por lo tanto con características de la organización, afectando su actitud y comportamiento, los que se relacionan directamente con la satisfacción y compromiso laboral de las personas (Sánchez, et al., 2013).

En este sentido, Chiang & San Martín (2015) plantean que la satisfacción laboral es “un concepto globalizador con el que se hace referencia a las actitudes de las personas hacia diversos aspectos de su trabajo”, mientras que el compromiso laboral puede entenderse como “un estado psicológico que caracteriza la relación entre una persona y una organización, la cual presenta consecuencias respecto a la decisión para continuar en la organización o dejarla” (Meyer, Allen & Smith, 1993), o bien como “la fuerza con la que un individuo se siente vinculado a una organización y que implica el seguimiento de un curso de acción relevante para la organización” (Juaneda & González, 2007).

En el contexto de las instituciones educativas, en Chile, el Marco para la buena dirección y liderazgo escolar establece que “los equipos directivos requieren desarrollar una gestión eficiente y transformar su establecimiento en una organización efectiva, que facilite la concreción de su proyecto educativo y el logro de las metas institucionales”, es decir, promover y asegurar un rendimiento de acuerdo a lo esperado y establecido, donde la gestión de la información del establecimiento puede, por ejemplo, facilitar la rendición de cuentas sobre los procesos y resultados del establecimiento a los actores e instancias interesadas, fortaleciendo su transparencia, brindando una mayor confianza y robusteciendo el liderazgo de la dirección (Mineduc, 2015).

Las organizaciones educativas utilizan sistemas y tecnologías de información en el desarrollo de los procesos asociados a la formación, y al igual que otras organizaciones también los utilizan para apoyar los procesos de gestión que llevan a cabo, en ambos casos el liderazgo de la dirección existente al interior de estas entidades es un elemento relevante para el éxito de la utilización e integración de tales herramientas (Valverde-Berrocoso & Sosa-Díaz, 2014; Vanderlinde, Dexter & Van Braak, 2012).

La utilización de sistemas y tecnologías de información para el apoyo en la gestión directiva en el sistema escolar chileno es diverso (Hepp et al., 2017), siendo posible identificar un conjunto de herramientas de este tipo (ofrecidos por el mercado más los sistemas públicos), que buscan colaborar con distintos aspectos relacionados directamente con la gestión de los establecimientos en el ámbito administrativo (gestión administrativa), curricular (gestión curricular), académico (gestión académica), y pedagógico (gestión pedagógica).

En esta línea, el Ministerio de Educación de Chile ha proporcionado sistemas y tecnologías de información para apoyar la gestión de los establecimientos educativos, por ejemplo, para completar registros, agilizar procesos administrativos, generar informes

estadísticos (Hepp, et al., 2017). Sin embargo, aún persisten ciertas resistencias que provocan que estas herramientas sean subutilizadas, debido a aspectos como el temor y/o rechazo al uso de éstas, percepción de baja utilidad de los sistemas, percepción de doble trabajo, inseguridad de la información disponible, e incluso la inclinación por continuar ejerciendo prácticas ya habituales en la forma de hacer las cosas (Torrent, 2015), afectando con ello el éxito de tales sistemas, y por lo tanto la percepción que los usuarios presentan sobre éstos, influyendo en consecuencia en su percepción sobre aspectos relacionados con su trabajo, lo que incide en su satisfacción y compromiso laboral (Sánchez et al., 2013).

Los planteamientos sobre el liderazgo de la dirección para el desarrollo de una exitosa implementación e integración de sistemas y tecnologías de información en organizaciones educativas, y como este éxito de los sistemas de información puede incidir en la percepción que los usuarios tienen de éstos, lo que puede afectar en su satisfacción y compromiso laboral, constituyen la base para sustentar las hipótesis de investigación siguientes:

H1: La existencia de determinadas condiciones organizativas desarrolladas por el director y su equipo presentan una incidencia en el éxito de los SI utilizados en establecimientos educativos.

H2: El éxito de los SI presenta una incidencia en la satisfacción laboral de las personas, en el contexto de establecimientos educativos.

H3: El éxito de los SI presenta una incidencia en el compromiso laboral de las personas, en el contexto de establecimientos educativos.

3. Metodología

La validación de las hipótesis propuestas considera un estudio empírico efectuado en organizaciones educativas de enseñanza primaria y secundaria, en Chile, aplicando instrumentos de medición a directivos, administrativos y/o profesores que utilizan y/o conocen los SI disponibles para apoyar la gestión de estas instituciones.

La recolección de datos se efectúa por medio de instrumentos ya definidos y utilizados en otros estudios, concretamente: medición del éxito de los SI definida por Medina (2005); medición de la satisfacción laboral utilizada por Chiang y Gómez (2017); medición del compromiso laboral utilizada por Meyer, Allen y Smith (1993). El conjunto de estos instrumentos de medición utiliza una escala Likert de cinco puntos, donde uno es el valor más bajo y cinco el valor más alto.

Sin embargo, para la medición de las actividades desarrolladas por la dirección para el conocimiento, implementación (incorporación) y utilización de los SI para apoyar la gestión del establecimiento (medición de implementación de los SI), se ha confeccionado un instrumento específico, por medio de procedimiento que se presenta a continuación: (a) revisión de la literatura sobre el tema y entrevistas a directores, miembros de equipos directivos y profesores de establecimientos educacionales, (b) identificación de posibles ítems de medición, (c) validación por expertos y desarrollo de ajustes recomendados,

(e) nueva validación por expertos y ajustes recomendados, (f) confección de encuesta, (g) aplicación piloto a directores, miembros de equipos directivos y profesores, para su validación final (forma y contenido), (h) ajustes encuesta final. Este instrumento también utiliza una escala Likert de cinco puntos, donde uno es el valor más bajo y cinco el valor más alto.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo por medio de modelo de ecuaciones estructurales basado en PLS y la utilizando el software SmartPLS.

4. Análisis de Datos y Resultados

4.1. Resultados de la aplicación de encuesta

En este trabajo se presentan los resultados para 193 encuestas válidas obtenidas. La Tabla 1 entrega la descripción de la muestra.

Categoría		Nº	%
Género	Femenino	142	74%
	Masculino	51	26%
Edad	Menor de 30 años	20	10%
	Entre 30 y 39 años	123	64%
	Entre 40 y 50 años	43	22%
	Mayor de 50 años	7	4%
Antigüedad en la Organización	Entre 1 y 5 años	7	4%
	Entre 6 y 10 años	162	84%
	Mayor de 10 años	24	12%

Tabla 1 – Descripción de la muestra

4.2. Resultados obtenidos

El modelo de investigación contempla tres constructos de primer orden: Implementación de SI, Satisfacción Laboral y Compromiso Laboral; y un constructo de segundo orden, Éxito de los SI, que considera seis dimensiones, Calidad del Sistema en General, Calidad de la Información, Calidad de los Servicios, Toma de Decisiones, Satisfacción y Uso-Utilidad.

El análisis en PLS se realiza en dos fases, en la primera se evalúan las seis dimensiones del Éxito de los SI para formar con sus puntajes estandarizados una variable de segundo orden que será utilizada en la segunda fase, lo que se lleva a cabo considerando el procedimiento especificado en el “método de construcción por medio de latent variables score (Cepeda & Roldán, 2004)”, donde para las dimensiones que la componen se aplicaron las medidas de fiabilidad y validez. En la segunda fase se evalúan los modelos de medida y estructural, asociados al modelo de investigación.

4.3. Evaluación Modelo de Medida

Los datos obtenidos, una vez finalizado el proceso de aplicación de PLS se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3.

Constructo/Ítem	Cargas	Fiabilidad Compuesta (P _c)	Alfa de Cronbach	Varianza Extraída Media (AVE)
Implementación SI		0,953	0,946	0,607
ISI1	0,748			
ISI10	0,823			
ISI11	0,760			
ISI12	0,776			
ISI13	0,682			
ISI2	0,782			
ISI3	0,808			

Tabla 2 – Cargas, Fiabilidad Compuesta, Alfa de Cronbach y AVE

Constructo/Ítem	Cargas	Fiabilidad Compuesta (P _c)	Alfa de Cronbach	Varianza Extraída Media (AVE)
ISI4	0,815			
ISI5	0,777			
ISI6	0,789			
ISI7	0,789			
ISI8	0,801			
ISI9	0,773			
Éxito de los SI		0,871	0,802	0,628
Calidad del Servicio (CSE)	0,760			
Satisfacción (SA)	0,800			
Toma de Decisiones (TD)	0,853			
Uso-Utilidad (U)	0,751			
Satisfacción Laboral		0,949	0,939	0,674
ST13	0,701			
ST15	0,824			
ST16	0,801			
ST17	0,869			
ST18	0,835			

Construto/Ítem	Cargas	Fiabilidad Compuesta (P _c)	Alfa de Cronbach	Varianza Extraída Media (AVE)
ST19	0,874			
ST21	0,831			
ST22	0,824			
ST29	0,818			
Compromiso Laboral		0,912	0,889	0,633
CL1	0,824			
CL14	0,713			
CL17	0,762			
CL2	0,763			
CL4	0,864			
CL5	0,838			

Tabla 2 – Cargas, Fiabilidad Compuesta, Alfa de Cronbach y AVE (continuación)

Construto	Compromiso Laboral	Implementación SI	Satisfacción Laboral	Éxito de SI
Compromiso Laboral	0,796			
Implementación SI	0,130	0,779		
Satisfacción Laboral	0,320	0,033	0,821	
Éxito de SI	0,300	0,357	0,349	0,792

Tabla 3 – Validez Discriminante

La fiabilidad individual del ítem se valora examinando las cargas de los indicadores con su respectivo construto. El valor establecido como mínimo para que se cumpla esta fiabilidad es de 0.65. La Tabla 2 muestra los ítems que cumplen esta condición asociados a la Implementación de SI (ISI), Éxito de los SI, Satisfacción Laboral (ST), Compromiso Laboral (CL), cumpliéndose, en consecuencia, la fiabilidad individual del ítem para cada caso.

La fiabilidad del construto se valora examinando la fiabilidad compuesta (ρ_c). El valor asumido como apropiado para la fiabilidad compuesta es un mínimo de 0.7. La Tabla 2 muestra que el valor de la fiabilidad compuesta de Implementación de SI (ISI), Éxito de los SI, Satisfacción Laboral (ST), Compromiso Laboral (CL) supera el mínimo establecido, cumpliéndose, entonces, la fiabilidad del construto para cada caso.

La validez convergente se valora por medio de la Varianza Extraída Media (AVE). El valor del AVE debe ser superior a 0.5. La Tabla 2 muestra que el AVE de la Implementación de SI (ISI), Éxito de los SI, Satisfacción Laboral (ST), Compromiso Laboral (CL), satisfacen el valor exigido, por lo que se cumple la validez convergente, para cada caso.

La validez discriminante se valora utilizando la Varianza Extraída Media (AVE). La condición exigida es que el AVE de un constructo debe ser superior a la varianza compartida entre él y los otros constructos del modelo. La Tabla 3 muestra los datos correspondientes a la validación discriminante, donde se puede apreciar que se satisface la condición exigida, cumpliéndose, por lo tanto, la validez discriminante.

Finalmente, dado que se cumple la fiabilidad individual del ítem, la fiabilidad del constructo, la validez convergente y la validez discriminante, se puede concluir que se cumple la evaluación del modelo de medida en forma satisfactoria.

4.4. Evaluación del Modelo Estructural

La evaluación del Modelo Estructural se lleva a cabo por medio de tres indicadores: los coeficientes path (β), la varianza explicada (R^2) y los t-estadísticos. Los coeficientes path deben presentar un valor igual o superior a 0.2, la varianza explicada deber ser mayor o igual a 0.1. Los datos obtenidos para la evaluación de dicho modelo se muestran en la Tabla 4 y Tabla 5.

Relación			Coficiente Path (β)	t-estadísticos/ Valor P	Significancia Estadística
Implementación SI	→	Éxito SI	0,357	5,712 / 0,000	***
Éxito SI	→	Compromiso Laboral	0,300	4,961 / 0,000	***
Éxito SI	→	Satisfacción Laboral	0,349	5,306 / 0,000	***
Para n=500 submuestras: *p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001 (basado en una distribución t ₍₄₉₉₎ de Student de una cola)					
t _(0.05; 499) =1.64791345; t _(0.01; 499) =2.333843952; t _(0.001; 499) =3.106644601					

Tabla 4 – Coeficiente Path y significancia estadística

Constructo	Varianza Explicada (R^2)
Éxito SI	0,128
Compromiso Laboral	0,090
Satisfacción Laboral	0,122

Tabla 5 – Varianza Explicada (R^2)

Considerando el análisis efectuado, se soportan las hipótesis H1, H2 y H3. La Figura 1 muestra esquemáticamente el resultado de análisis del modelo estructural.

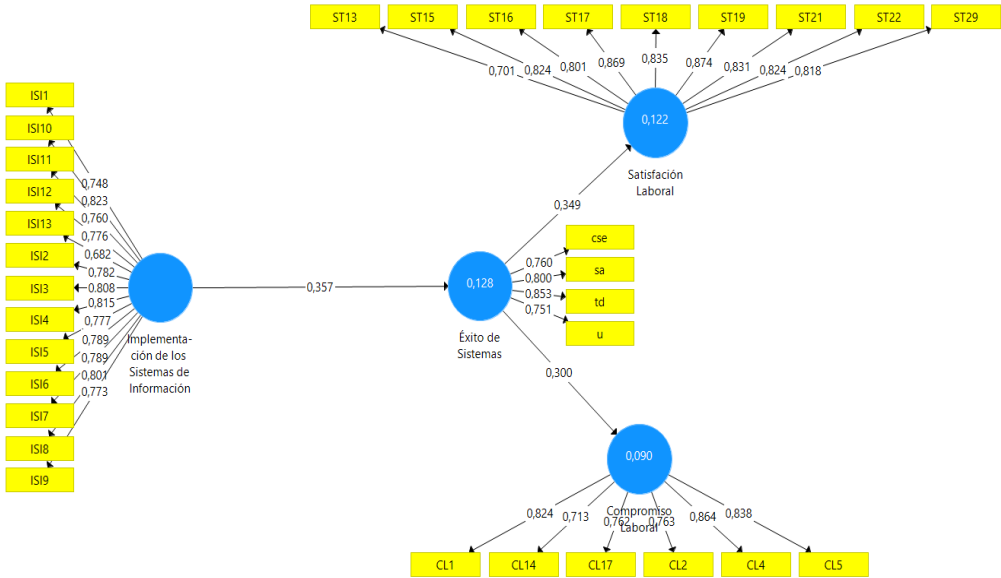


Figura 2 – Modelo Estructural

4.5. Discusión

Se aprecia la existencia de una relación positiva entre la implementación de los SI y el éxito de los SI, y entre el éxito de los SI y el compromiso y satisfacción laboral, lo que ha motivado que se soporten las tres hipótesis definidas.

En relación a la Implementación de SI, los tres aspectos donde más se ve reflejada son: (i) El Director muestra dominio o manejo de los sistemas de información que apoyan la gestión del establecimiento, (ii) El Director y/o su equipo de gestión induce al profesorado al conocimiento de los sistemas de información que apoyan la gestión del establecimiento, y (iii) El Director induce a su equipo de gestión al conocimiento y utilización de los sistemas de información para apoyar la gestión del establecimiento.

Respecto al Éxito de los SI, los aspectos que muestran una mayor visualización se relacionan con el apoyo de estas herramientas para la toma de decisiones, la satisfacción de los usuarios y la calidad del servicio otorgado.

Sobre el Compromiso Laboral, los tres aspectos que mayormente se ven reflejado son: (i) Siento de verdad, que cualquier problema en esta institución, es también mi problema, (ii) Creo que debo mucho a esta institución, (iii) Me gustaría continuar el resto de mi carrera profesional en esta institución. Lo anterior muestra la existencia de un fuerte compromiso de las personas con su institución, lo que las motiva a sentirse parte de ellas.

En relación con la Satisfacción Laboral, los tres aspectos donde más se ve reflejada se refieren a: (i) Atención que se presta a sus sugerencias, (ii) El espíritu de colaboración y ayuda en el trabajo, y (iii) Las relaciones entre los miembros de la organización. Esto puede interpretarse en el sentido que en estos establecimientos se brinda gran relevancia a las buenas relaciones que se mantienen entre las personas, donde existe colaboración y se reconozca el aporte de cada uno.

5. Conclusiones

Las acciones o actitudes del equipo directivo, especialmente del director, en torno a la implementación de los sistemas de información, inciden en el éxito de estos, en el contexto de establecimientos educativos de enseñanza primaria y secundaria. Lo anterior resulta relevante para la adecuada implantación y utilización de los sistemas de información, ya que son los directivos los que deben establecer y difundir las bases y condiciones para que los usuarios de estas herramientas los conozcan y utilicen correcta y satisfactoriamente, implementado, por ejemplo, procesos de capacitación eficientes, donde se presenten y expliquen claramente sus características y beneficios.

Este estudio ha mostrado que el éxito de los sistemas de información presenta una incidencia tanto en la satisfacción como en el compromiso laboral de las personas, constituyendo, en consecuencia, una oportunidad de las organizaciones para definir e implementar acciones, encabezadas por su equipo directivo, que promuevan la adecuada utilización de estas herramientas, ya que los beneficios que pueda presentar su uso, al afectar la satisfacción y compromiso de sus usuarios, podría incidir en el rendimiento o resultados obtenidos por la organización.

Sin duda, es necesario continuar avanzando en la incorporación e integración de los SI/TI en la gestión de establecimientos educacionales, de manera de contribuir a que estas herramientas constituyan un medio para promover, desarrollar y fortalecer las actividades que desarrollan. En este contexto, no solo son relevantes aspectos técnicos, sino que cobran especial importancia aspectos relacionados con factores humanos, donde se establezcan estrategias que promuevan que la comunidad escolar perciba que estas tecnologías facilitan y colaboran en la ejecución de sus tareas, actividades y procesos, en pro del logro de los resultados esperados, lo que en definitiva determinará el éxito de los SI/TI dentro de la organización.

No obstante lo señalado anteriormente, es necesario continuar con el desarrollo de este estudio, de manera de disponer de un mayor número de encuestas válidas, lo que puede ratificar los hallazgos encontrados, revertirlos o bien presentar nuevos antecedentes, lo que debe ser discutido.

De igual forma, resulta interesante desarrollar este estudio en otros ámbitos o contextos, por ejemplo en Universidades, Institutos Profesionales, instituciones públicas, instituciones privadas, lo que permitiría efectuar análisis comparativos entre diferentes entidades sobre antecedentes y consecuencias del éxito de los sistemas de información sobre el recurso humano, en distintos tipos y niveles de establecimientos educativos.

Referencias

- Abrego, D., Sánchez, Y., and Medina, J. (2017). Influencia de los SI en los resultados organizacionales. *Contaduría y Administración*.
- Ayala, A. (2012). Evaluación del módulo de Recursos Humanos del Enterprise Resource Planning (ERP) en una empresa colombiana usando el modelo de Delone y Mclean. Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- Calderón, J., and Rodríguez, C. (2010). Un enfoque gerencial de factores críticos para el éxito de los SI en la Pyme metalmecánica venezolana. *Contaduría y Administración*, 57(1), 79–102.
- Cepeda, G., & Roldán, J.L. (2004). Aplicando en la práctica la técnica PLS en la administración de empresas. Congreso de la Asociación Científica de Economía y Dirección de la Empresa.
- Chiang, M. y Gómez, N. (2017). Satisfacción Laboral de trabajadores chilenos. Un Modelo de Ecuaciones Estructurales. *Cuadernos de Administración, Revisra de Administración y Negocios*, 33(57), 48-60.
- Chiang, M. y San Martín, N. (2015). Análisis de la satisfacción y el desempeño laboral en los funcionarios de la Municipalidad de Talcahuano. *Ciencia & Trabajo*, 17(54), 159-165.
- Delone, W., y Mclean, E. (2003). The DeLone and McLean Model of Information System Success: A Ten-Year Update. *Journal of Management Information Systems / Spring*, 19(4), 9-30.
- Hepp, P. Pérez, M. Aravena, F., and Zoro, B. (2017). Desafíos para la integración de las TIC en las escuelas: Implicaciones para el liderazgo educativo. Informe Técnico No. 2 2017. LIDERES EDUCATIVOS, Centro de Liderazgo para la Mejora Escolar: Chile.
- Juaneda, E. y González, L. (2007). Definición, Antecedentes y Consecuencias del Compromiso Organizativo. Conferencia Conocimiento, innovación y emprendedores: camino al futuro, editado por Universidad de La Rioja, España.
- Medina, J. (2005). Evaluación del impacto de los sistemas de información en el desempeño individual del usuario: aplicación en instituciones universitarias. Retrieved from <http://oa.upm.es/244/>.
- Medina, J., García, E. y De la Garza, M. (2009). Influence of the Implementation Factors in the Information Systems Quality for the User Satisfaction. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 6(1), 25-44.
- Medina, J., Lavín, J., and Pedraza, N. (2012). Seguridad en la administración y calidad de los datos de un sistema de información contable en el desempeño organizacional. *Contaduría y Administración*, 57(574), 11–34.
- Meyer, J., Allen, N. y Smith, C. (1993). Commitment to organizations and occupations: Extension and test of a three-component conceptualization. *Journal of Applied Psychology*, 78(4), 538-551.

- Mineduc (2015). Marco para la buena dirección y el liderazgo escolar, Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas, CPEIP, Ministerio de Educación República de Chile, 1ª edición.
- Ramírez, P., y García, R. (2005). Success of ERP systems in Chile: an empirical study. In *Proceedings of European, Mediterranean & Middle Eastern Conference on Information Systems* (pp. 1-16).
- Sánchez, D., Reyes, R., Sekeres, M. y Ortiz, J. (2013). Satisfacción laboral y compromiso en las organizaciones de Rio Verde, S.L.P. *Revista de Psicología y Ciencias del Comportamiento de la U.A.C.J.S.*, 4(1), 59-76.
- Sosa, M., and Valverde, J. (2015). El equipo directivo” e-Competente” y su liderazgo en el proceso de integración de las TIC en los centros educativos. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 8(2), 77-103.
- Torrent, C. (2015). Uso de plataformas de gestión educativa. Santiago: Centro de Educación y Tecnología Enlaces del Ministerio de Educación Chile. Citado por Hepp et al. (2017).
- Valverde-Berrocoso, J., and Sosa-Díaz, M. J. (2014). Centros educativos e-competentes en el modelo 1: 1. el papel del equipo directivo, la coordinación TIC y el clima organizativo. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 18(3).
- Vanderlinde, R., Dexter, S., and Van Braak, J. (2012). School-based ICT policy plans in primary education: Elements, typologies and underlying processes. *British Journal of Educational Technology*, 43(3), 505-519.

Evaluación del modelo de predicción de objetivos de sesión de captura de requisitos de software

Dante Carrizo¹, Jacqueline Manriquez²

dante.carrizo@uda.cl, jmanriquez@ucn.cl

¹ Universidad de Atacama, Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación, 1530000, Copiapó, Chile.

² Universidad Católica del Norte, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, 1240000, Antofagasta, Chile.

Pages: 654–667

Resumen: La educación de requisitos de software es un proceso afectado por diversos factores contextuales como el dominio del problema, la naturaleza de los stakeholders y los propios ingenieros de requisitos, entre otros. Una forma de representar esto es a través del Modelo de Predictores de Objetivos de Sesión (MPOS), el cual pretende predecir el curso de una sesión estimando si se cumplirán ciertos objetivos importantes para el equipo de desarrollo. En este artículo se aplica un método analítico, basado en Patrones de la experiencia de Usuario (PUX), para evaluar la notación utilizada en el modelo MPOS e identificar aspectos a mejorar en el futuro. Los resultados son positivos arrojando una evaluación global de 87%.

Palabras-clave: Ingeniería de Software; Ingeniería de requisitos; modelos de procesos; método de evaluación; notaciones.

Evaluation of the prediction model of session objectives for capturing software requirements

Abstract: The elicitation of software requirements is a process affected by various contextual factors such as the domain of the problem, the nature of the stakeholders and the requirements engineers themselves, among others. One way to represent this is through the Session Objective Predictor Model (MPOS), which aims to predict the course of a session by estimating whether certain important objectives for the development team will be met. In this article, an analytical method, based on Patterns of User Experience (PUX), is applied to evaluate the notation used in the MPOS model and identify aspects to improve in the future. The results are positives throwing an overall evaluation of 87%.

Keywords: Software Engineering; Requirements Engineering; process models; evaluation method; notations.

1. Introducción

Dentro de la Ingeniería de Software, la Ingeniería de Requisitos (IR) es un proceso de carácter socio-técnico con el fin de descubrir, documentar, analizar y mantener un conjunto de requisitos en un proyecto de desarrollo de software (Brooks, 1987). El sub-proceso de descubrir o educir los requisitos tiene como objetivo identificar información que ayude a determinar las características deseadas del sistema software a desarrollar. Para esto, es necesario considerar información acerca del dominio de aplicación y de los *stakeholders*, los que tienen interés en el desarrollo del sistema software (Jinath, 1995) (Sharma & Pandey, 2014).

Sin embargo, la educación de requisitos presenta dificultades provenientes de la naturaleza borrosa y cambiante de los requisitos, y de las particularidades de cada organización y de sus funcionarios, lo cual plantea grandes retos a los practicantes de la Ingeniería de Requisitos (IR). En resumen, su desempeño es dependiente de las características del contexto en que ocurre. Por ejemplo, los stakeholders algunas veces tienen poca claridad desde el inicio del proyecto cuáles es el origen de sus problemas, ni lo que esperan del sistema que les ayudará a resolverlos. Además, siempre son condicionantes para los ingenieros de requisitos aspectos como: el dominio del problema que se intenta resolver, el entorno o dominio de la solución en el que deberá funcionar, la cultura organizacional, la experiencia de los ingenieros de requisitos que realizan la educación y la naturaleza cambiante de los requisitos.

Uno de los autores de este trabajo ha propuesto un marco de trabajo para gestionar el proceso de educación de requisitos a través de dos enfoques complementarios (Carrizo & Ortiz, 2018). El primer enfoque va dirigido a estimar o predecir el desarrollo de una sesión de educación, basado en la influencia que tienen los factores contextuales antes descritos para el cumplimiento de ciertos objetivos predefinidos durante cada sesión, denominado Modelo de Predictores de Objetivos de Sesión (MPOS).

En este trabajo, se presenta la evaluación de aquel modelo MPOS utilizando un marco analítico de Patrones de Experiencia del Usuario (Blackwell & Fincher, 2010). El método analítico de patrones (PUX) (Alexander, Ishikawa, & Silverstein, n.d.), es un patrón que se basa en el marco de la Notación de Dimensiones Cognitivas, relacionada con el comprender e interactuar con la construcción y representación de estructuras teórica, conceptuales y prácticas, dándole un sentido a la realidad (Green, 1989). Es decir, es un lenguaje de patrones que se enfoca en referenciar las experiencias de los usuarios en correspondencia a los patrones de diseño de software (Richards, n.d.), caracterizando sistemáticamente la experiencia que tienen los usuarios respecto a la perspectiva teórica (A. Blackwell, 2015), considerando la representación visual de la estructura de la información con la interacción de texto, diagramas, visualizaciones u otros sistemas de notación, donde los elemento de datos y las relaciones entre ellos proporcionan una estructura de la información, incluyendo las relaciones fundamentales. Tanto los marcos de Dimensiones Cognitivas como PUX resaltan que las experiencias de los usuarios surgen no solo de una representación visual formal (Crilly, Blackwell, & Clarkson, 2006), sino que también de cómo se utilizan las herramientas, o sea, de cómo el usuario interactúa con la herramienta, tareas o actividades. Esto brinda la posibilidad de efectuar una evaluación no solo centrada en las propiedades visuales de las notaciones en sí.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se presenta un resumen del Modelos MPOS. En la sección 3 se presenta el método de evaluación basado en PUX. En la sección 4 se lleva a cabo la evaluación del modelo MPOS con el método PUX. Finalmente se entregan las conclusiones de todo el trabajo realizado.

2. Modelo de Predictores de Objetivos de Sesión (MPOS)

En un proyecto de desarrollo de software, cuando el ingeniero de requisitos acomete un proceso de educación de requisitos, la unidad de trabajo fundamental es la sesión. La sesión de educación es la instancia para entrar en contacto con los stakeholders, aplicar técnicas y capturar información. Toda la dinámica asociada con la educación depende de cómo el ingeniero de requisitos maneje los factores que la condicionan, pero, si hubiera una forma de predecir cómo se va a desarrollar una sesión de educación en particular, el ingeniero de requisitos podría prepararse, mitigar problemas, y no depender exclusivamente de la experiencia acumulada para tener una idea de cómo ocurrirá.

Entonces, para predecir el desarrollo de una futura sesión de educación, se propone un modelo para estimar el grado de cumplimiento de tres objetivos específicos que se pretenden durante la sesión para calificarla como exitosa. Cada objetivo de sesión es propuesto como un diagrama que agrupa y representa de forma cualitativa y cuantitativa ciertos atributos condicionantes mencionados arriba y que al agruparlos apuntan a un concepto común u objetivo deseable de alcanzar en una sesión de educación (Carrizo & Ortiz, 2018). Los factores y atributos asociados a cada objetivo se han propuesto basándose en la forma en que se utilizan en (Carrizo, 2013) analizando qué atributos son los que más influyen en la consecución de un objetivo de sesión en concreto.

Los objetivos de sesión son:

Information Capture in Session (IC): Determina si en la próxima sesión de educación se puede capturar información en cantidad y en calidad. Esto es, si el volumen capturado se traduce en actualizaciones de requisitos previos o en la educación de nuevos requisitos.

Session Logistics (SL): Determina si la sesión se puede coordinar y llevar a cabo sin problemas en términos de disponibilidad de tiempo, ubicación geográfica de los participantes, provisión de recursos y materiales necesarios.

Session Dynamics (SD): Determina si la interacción y el clima de la sesión son los adecuados para que se produzca el entendimiento necesario entre los participantes, y que la información fluya, se intercambie y se descubra sin problemas.

Para aplicar MPOS se deben desarrollar estos 3 componentes:

1. **Esquemas de Influencia:** Es una notación gráfica para representar la dinámica entre los factores contextuales y sus atributos con los objetivos de sesión. Su fin es determinar de forma visual e intuitiva los predictores del grado de cumplimiento de estos objetivos. La idea del predictor es que el ingeniero de requisitos tenga una estimación sobre cómo se desarrollará la sesión y si se podrán cumplir los objetivos planteados. Se ha definido un esquema de influencia específico por cada objetivo. La Tabla 1 define los elementos de la notación.










Símbolo	Significado	Detalle
	Factor contextual	Afecta el desarrollo de la educación en diversas formas, pertenece al contexto en que se ejecuta.
	Atributo de un factor contextual específico	Característica particular de un factor contextual que influye en una forma específica sobre el cumplimiento de un objetivo de sesión
	Conector simple entre un factor contextual y uno de sus atributos	Representa la influencia de un atributo sobre un objetivo de sesión
	Objetivo específico de la sesión de educación que se busca predecir	La resolución del esquema de influencia busca predecir cada uno de los objetivos de la sesión.
	Relación de influencia fuerte que va desde un atributo de un factor contextual hacia un predictor de objetivo de sesión	Indica que el atributo en cuestión ejerce una influencia muy importante en el cumplimiento del objetivo de sesión.
	Relación de influencia débil que va desde un atributo de un factor contextual hacia un predictor de objetivo de sesión	Indica que el atributo en cuestión ejerce una influencia secundaria en el cumplimiento del objetivo de sesión
A	Valor alto para un atributo específico de un factor contextual, o de un predictor de objetivo.	Ejemplos: -gran conocimiento del dominio, -mucho experiencia en educación.
M	Valor medio para un atributo específico de un factor contextual, o de un predictor de objetivo	Ejemplos: -habilidad comunicacional promedio -poca experiencia en educación.
B	Valor bajo para un atributo específico de un factor contextual, o de un predictor de objetivo	Ejemplos: -ningún conocimiento en técnicas de educación -idea muy vaga sobre el producto esperado
	Predictor que indica que el objetivo no se cumple durante la sesión	Se deben tomar medidas para revertir la situación, como mejorar todos los atributos posibles antes de la sesión
	Predictor que indica que hay incertidumbre sobre el cumplimiento del objetivo durante la sesión	Mejorar los atributos con valor bajo, en la medida de lo posible, para reducir la incertidumbre en el cumplimiento del objetivo.
	Predictor que indica que el objetivo se cumple satisfactoriamente durante la sesión	La situación es óptima para cumplir el objetivo, aun así se debe estar atento a cualquier cambio en los atributos y la situación en general.

Tabla 1 – Notación esquema de influencia

1. Intensidad de la Relación de Influencia: La Figura 1 muestra las relaciones de influencia como flechas que pueden ser sólidas o segmentadas, lo que indica que los atributos de los factores contextuales pueden ejercer dicha influencia en distintos grados. Una relación de influencia de intensidad fuerte, representada por una flecha sólida, indica que el atributo afecta de forma significativa al cumplimiento del objetivo de sesión. Por otro lado, una relación de influencia de intensidad

débil, representada por una flecha segmentada, significa que el atributo tiene un papel secundario en el grado de cumplimiento del objetivo de sesión.

2. Resolución del Esquema de Influencia: Para obtener el valor de los predictores (si se cumplen o no los objetivos de sesión) se deben resolver los esquemas de influencia de cada objetivo de sesión. Para esto, se construye cada esquema ubicando los atributos según el objetivo de sesión que se desea predecir. Luego, se incluyen los valores de influencia sobre las flechas que salen de cada atributo. La intensidad de influencia que puede ser fuerte o débil, de un atributo sobre un objetivo se cuantifica con el valor 0.5 y 1 respectivamente. Se proponen estos valores para cuantificar de alguna forma la influencia de los atributos, junto a cada valor de atributo (B, M, A) se ubicará ahora el grado de intensidad de su influencia (0.5, o 1). Con el esquema inicializado, se resuelve de la siguiente forma:

En el esquema se suman los valores B, M y A, usando el valor de influencia de cada atributo y se anotan los totales de cada valor debajo del esquema. Luego se toma el total de los valores extremos (B y A) y se obtiene la distancia en valor absoluto entre ellos, mediante una sustracción simple, y si esta distancia es mayor o igual 2, el esquema de influencia se resolverá en favor de aquel valor extremo con el total más alto. Si no se produce esa diferencia de 2, el esquema se resolverá con el valor M que indica incertidumbre. En el caso que un valor de atributo tenga el total máximo por ejemplo (B = 6, M = 0, A = 0), naturalmente el esquema se resuelve en favor de aquel valor de atributo. La Figura 1 ilustra un ejemplo.

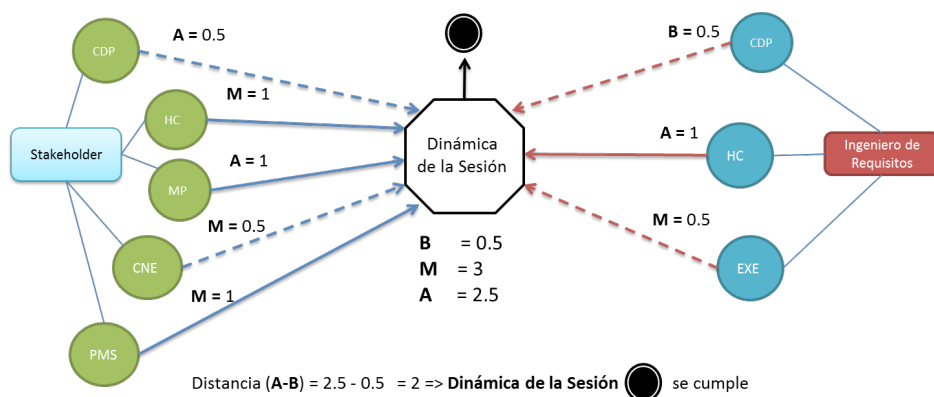


Figura 1 – Resolución esquema de influencia objetivo Dinámica de Sesión

3. Método Patrones de Experiencia del Usuario

El método de Patrones de Experiencia del Usuario (PUX), en relación a los patrones de diseño de software, se basa en la semántica especificada como estructura y las herramientas como sistema de notación, este método se divide en 2 secciones, las cuales consisten en: Patrones de uso, que describen las actividades donde el usuario interactúa

con las notaciones; y Patrones de experiencia, que describen si las experiencias que tienen los usuarios son o no importantes respecto a la necesidad y actividad real.

El método PUX además incluye dependencias entre los tipos de uso y los tipos de experiencia, lo que permite anticipar las consecuencias de las decisiones de diseño al analista o diseñador (Crilly, Blackwell, & Clarkson, 2012). Los patrones de uso describen la interpretación que se da a las actividades respecto a la información necesaria visible, diseño visual, el flujo que sigue la elaboración de información respecto a la descripción visual, construcción respecto a sus propósitos fundamentales, la interacción, facilidad de uso y convencimiento de su utilización. Mientras que los patrones de experiencias están orientados netamente a la utilización del modelo en el ámbito de implementación.

Los patrones de uso y de experiencia son 46, existiendo en algunos casos dependencia de unos respecto de otros. Hay 3 categorías de actividades de los patrones de uso: Interpretación (IA1-3), Construcción (CA1-4) y Social (SA1-3), mientras que los patrones de experiencias están divididos en 7 categorías: Visibilidad (VE1-5), Estructura (SE1-4), Significado (ME1-6), Interacción (IE1-6), Pensamiento (TE1-5), Proceso (PE1-6) y Creatividad (CE1-4).

3.1. Patrón de Uso “Interpretación”.

En la Tabla 2 se especifica y describe cada actividad del patrón de uso “Interpretación” y su vinculación con el patrón de experiencia.

Cod Uso	Patrón experiencia	Cod Experiencia	Actividad	Descripción Criterio
IA1	Visibilidad	VE1	Información Visible	La información que necesita es visible
	Visibilidad	VE4	Disposición concisa	El diseño visual es conciso
	Estructura	SE3	Rutas disponibles	Hay rutas desde algo que sabes hasta algo que no sabes
	Pensamiento	TE4	Significa solo una cosa	Pensamiento: Los elementos solo significan una cosa
IA2	Visibilidad	VE5	Detalla el contexto	Puede ver detalles en contexto
	Estructura	SE4	Comparar / Contrastar partes	Puedes comparar y contrastar diferentes partes
	Significado	ME4	Diferencia	Puedes notar la diferencia entre las cosas
	Pensamiento	TE2	Leer Nueva Información	Puedes leer información nueva
IA3	Visibilidad	VE2	Historia globalmente clara	La historia general es clara
	Visibilidad	VE3	Puntos de acceso	Puntos importantes llaman su atención
	Estructura	SE1	Ver Relaciones	Puedes ver las relaciones entre las partes
	Significado	ME1	Parece lo que se describe	Parece lo que describe
	Significado	ME3	Vistas Similares	Las cosas similares son similares
	Pensamiento	TE3	Se detiene y piensa	Te hace parar y pensar
	Pensamiento	TE5	Entorno Amigable	Eres atraído para jugar

Tabla 2 – Descripción de actividades del patrón de uso “Interpretación”

3.2. Patrón de Uso “Construcción”

En la Tabla 3 se especifica y describe cada actividad del patrón de uso “Construcción” y su vinculación con el patrón de experiencia.

Cod Uso	Patrón experiencia	Cod experiencia	Actividad	Descripción Criterio
CA1	Interacción	IE1	Oportunidad de interacción	Las oportunidades de interacción son evidentes
	Proceso	PE6	Conserva Contenido	El contenido puede ser preservado
CA2	Significado	ME2	claro propósito de partes	El propósito de cada parte es claro
	Interacción	IE2	Las acciones son fluidas	Las acciones son fluidas, no incómodas
	Interacción	IE3	Permanece en el mismo sitio	Las cosas se quedan donde las pones
	Interacción	IE5	Acciones fáciles de guiar	Las acciones más fáciles dirigen lo que hace
	Proceso	PE2	Los pasos coinciden con los objetivos	Los pasos que realiza coinciden con sus objetivos
	Proceso	PE5	Repetición Automatizada	La repetición puede ser automatizada
CA3	Estructura	SE2	Cambia fácilmente su vista	Puedes cambiar de opinión fácilmente
	Significado	ME5	Añade comentarios	Puedes agregar comentarios
	Interacción	IE4	Errores accidentales poco probable	Los errores accidentales son poco probables
	Pensamiento	TE1	Fácil Entendimiento	No necesitas pensar demasiado
	Proceso	PE1	Orden de tarea normal	El orden de las tareas es natural
	Creatividad	CE1	Puede extender el lenguaje	Puedes extender el lenguaje
CA4	Pensamiento	TE5	Entorno Amigable	Eres atraído para implementar
	Proceso	PE3	Prueba producto parcialmente	Puede probar un producto parcial
	Proceso	PE4	Ambiguo	Puede ser sin compromiso Ambiguo
	Creatividad	CE2	Redefine la Implementación	Puedes redefinir cómo se implementa
	Creatividad	CE3	Varias ideas por tarea	Puedes ver cosas diferentes cuando miras de nuevo
	Creatividad	CE4	Autoriza cualquier cosa	Se permite cualquier cosa no prohibida

Tabla 3 – Descripción de actividades del patrón de uso “Construcción”

3.3. Patrón de Uso “Social”

En la Tabla 4 se especifica y describe cada actividad del patrón de uso “Social” y vinculación con el patrón de experiencia. Además, en este patrón se identifican patrones antes usados por patrón de uso de interpretación y construcción, vistos en las Tabla 2 y Tabla 3.

Cod Uso	Patrón Experiencia	Cod Experiencia	Actividad
IA1	Visibilidad	VE4	Disposición concisa
IA2	Estructura	SE4	Comparar / Contrastar partes
	Pensamiento	TE2	Leer Nueva Información
IA3	Visibilidad	VE2	Historia globalmente clara
	Visibilidad	VE3	Puntos de acceso
	Pensamiento	TE3	Se detiene y piensa
CA1	Proceso	PE6	Conserva Contenido
CA2	Significado	ME2	claro propósito de partes
	Interacción	IE2	Las acciones son fluidas
	Interacción	IE5	Acciones fáciles de guiar
CA3	Estructura	SE2	Cambia fácilmente su vista
	Significado	ME5	Añade comentarios
	Pensamiento	TE1	Fácil Entendimiento
	Proceso	PE1	Orden de tarea normal
CA4	Pensamiento	TE5	Entorno Amigable
	Proceso	PE4	Ambiguo
	Creatividad	CE3	Varias ideas por tarea
	Creatividad	CE4	Autoriza cualquier cosa

Tabla 4 – Descripción de actividades del patrón de uso “Social”

3.4. Utilización del Método PUX modificado.

Los patrones se desglosan en criterios y sus respectiva preguntas de evaluación, las cuales se describen en las rubricas de evaluación, que contienen la valoración “+” (generalmente positiva), “+/-” (aspectos positivos y negativos en balance) o “-” (generalmente negativa).

Esta nomenclatura dificulta las evaluaciones globales, por lo que los autores de este artículo los han modificado proponiendo el método de evaluación que sigue. Los valores fluctúan entre 0 y 1, indicando si la actividad del patrón de uso y experiencia es aplicable por el usuario. En la Tabla 5 se presenta, como ejemplo, la rúbrica de evaluación para algunas de las actividades del patrón de uso “Interpretación”. Por razones de espacio no es posible mostrar los otros patrones.

Criterio Actividad PUX	1	0,5	0
VE1 Visibilidad: La información que necesita es visible	Interpreta el significado de los símbolos, esto implica que no es necesario leer el texto.	Interpreta el significado de los símbolos, esto hace necesario leer parcialmente el texto.	Interpreta el significado de los símbolos, pero esto hace necesario leer todo el texto.
VE4 Visibilidad: El diseño visual es conciso	Esquematiza en forma concisa la historia en forma visual mediante el diseño.	Esquematiza en forma poco clara la historia en forma visual mediante el diseño.	No esquematiza la historia en forma visual mediante el diseño.
SE3 Estructura: Hay rutas desde algo que sabes hasta algo que no sabes	Identifica en forma clara el flujo del tiempo y su dirección, encontrando fácilmente el dominio independiente que el diagrama sea grande.	Identifica la flujo del tiempo y su dirección, o encuentra el dominio independiente que el diagrama sea grande, recurre a una mezcla general.	Identifica que es difícil para avanzar a lo largo de las líneas de tiempo en una dirección y puede llevar tiempo encontrar un evento de dominio que no se conoce.
TE4 Pensamiento: Los elementos solo significan una cosa	Emplea claridad semiótica, pues cada elemento que se utiliza significa una sola cosa.	No emplea la claridad semiótica, pues cada elemento que se utiliza significa dos cosa al mismo tiempo.	No emplea la claridad semiótica, pues cada elemento que se utiliza significa más de dos cosa.

Tabla 5 – Descripción de rúbrica de evaluación de algunas actividades del patrón de uso “Interpretación”

La valoración de los puntos estipulados para cada patrón se realiza mediante las ecuaciones (1), (2) y (3). Los valores de la ecuación (1) y (2) son el resultado obtenido de la sumatoria respecto a la valoración de cada rúbrica por separado, siendo n la cantidad de criterios estipulados en la misma, mientras que ecuación (3) es el resultado de la sumatoria evaluada en las 3 rúbricas existentes, las cuales se mencionan en la Tabla 6:

Rúbrica de Patron de Uso	Cantidad de Criterios
Interpretación	15
Construcción	20
Social	18
Rúbrica de Patrón de Experiencia	Cantidad de Criterios
Visibilidad	5
Estructura	5
Significado	5
Interacción	5
Pensamiento	6
Proceso	6
Creatividad	5

Tabla 6 – Cantidad de criterios aplicados por la rúbrica de patrón de Uso y Experiencia

En la Tabla 6 se visualiza la cantidad de criterios revisados por la rúbrica donde el promedio ponderado del patrón PUX con el acrónimo PP-PUX-U en porcentaje, indica el valor de estimación de la aplicación de este método para la actividad. El valor final obtenido denominado VEE-PUX brinda un valor de estimación de la Efectividad de la utilización de este modelo.

Además, en la Tabla 6 se menciona la cantidad ítem por patrón de experiencia, donde el promedio ponderado de patrón P-PUX-E, en porcentaje indica el valor de aceptación por actividad de experiencia del método PUX.

$$PP - PUX - U_i = \frac{\sum_{j=1}^n VC}{n}$$

$$PP - PUX - E_i = \frac{\sum_{j=1}^n VC}{n}$$

$$VEE - PUX = \frac{\sum_{i=0}^3 PP - PUX - U_i}{3}$$

Dada la ecuación (1) se tiene:

- VC: Valor de criterio por nivel valorado en el intervalo [0,1].
- j= Cada uno de los criterios específicos asociados a cada rúbrica.
- n= Cantidad total de criterios asociados a cada rúbrica específica.
- PP-PUX-Ui= Valor [0,1] obtenido como resultado de la aplicación de la fórmula el cual indica el valor estimado eficiencia de la actividad en la utilización del modelo por rúbrica por patrón de uso.

Dada la ecuación (2) se tiene:

- VC: Valor de criterio por nivel valorado en el intervalo [0,1].
- j= Cada uno de los criterios específicos asociados a cada actividad específica de experiencia de la rúbrica por patrón de uso.
- n= Cantidad total de criterios asociados a cada a cada actividad específica de experiencia de la rúbrica por patrón de uso.
- PP-PUX-Ei= Valor [0,1] obtenido como resultado de la aplicación de la fórmula el cual indica el valor estimado eficiencia de la actividad en la utilización del modelo por rúbrica por patrón de experiencia.

Dada la ecuación (3) se tiene:

- i= Cada una de las rúbricas.
- VE-PUX= Valor [0,1] obtenido como resultado de la aplicación de la fórmula el cual indica el valor estimado de eficiencia de la utilización del modelo y la aplicación final.

Los procedimientos utilizados en la validación referida a una rúbrica varían según el número de patrones utilizados y el número de criterios empleados.

Al aplicar las ecuaciones (1), (2) y (3) el resultado obtenido por VEE-PUX el cual se encuentra entre un intervalo de [0,1]. Dependiendo del valor, se puede categorizar la aceptación del modelo, como muestra la Tabla 7.

Valor de Estimación Eficiencia	Magnitud de Aceptación
0 a 0.25	No Aceptado
0.26 a 0.5	Aceptación Baja
0.51 a 0.75	Aceptación Moderada
0.76 a 1.0	Aceptación Alta

Tabla 7 – Categorización del Valor de Estimación de Eficiencia del modelo

4. Evaluación de MPOS

En este documento, se aplica el método PUX modificado al Modelo Predictor de Objetivos de Sesión de Educación descrito anteriormente. El propósito es evaluar las opciones de representación que presenta este modelo para indicar si existe efectividad de ser utilizado en la construcción de estructuras de información. Es decir, vincular el diseño MPOS a qué tareas y experiencias son las más deseables, para luego seleccionar los patrones que sean más apropiados, informativos y relevantes, enfatizando en obtener resultados no ambiguos y que tengan sentido para los usuarios del modelo. Donde los patrones de uso, están orientados a la interpretación de las actividades, mientras que los patrones de experiencias a la utilización de MPOS en el ámbito de la implementación de PUX como patrón. En la Tabla 8 se visualiza la aplicación de la rúbrica de los patrones PUX al modelo MPOS hecha por los autores. Por razones de espacio no es posible mostrar todas las evaluaciones.

Categoría patron Actividad	Criterio	Actividad PUX	Evaluación
Interpretación	Visibilidad	VE1 Información Visible	0,75
	Visibilidad	VE4 Disposición concisa	1
	Estructura	SE3 Rutas disponibles	0,75
	Pensamiento	TE4 Significa solo una cosa	1
	Visibilidad	VE5 Detalla el contexto	0,75
	Estructura	SE4 Comparar / Contrastar partes	0,5
	Estructura	SE4 Comparar / Contrastar partes	0,5
	Significado	ME4 Diferencia	1
	Pensamiento	TE2 Leer Nueva Información	1
	Visibilidad	VE2 Historia globalmente clara	1
	Visibilidad	VE3 Puntos de acceso	0,75
	Estructura	SE1 Ver Relaciones	1
	Significado	ME1 Parece lo que se describe	0,75
	Significado	ME3 Vistas Similares	1
	Pensamiento	TE3 Se detiene y piensa	1
	Pensamiento	TE5 Entorno Amigable	1

Tabla 8 – Valores obtenidos de la aplicación rubrica del patrón PUX

Con la aplicación de las ecuaciones (1) y (3) se obtienen los resultados mostrados en la Figura 2, los cuales indican que al aplicar el método PUX de patrones de uso sobre modelo, las diferentes actividades obtuvieron sobre un 84% de aceptación. Mientras que en la Figura 3, se visualiza que al aplicar el método PUX de patrones de experiencia sobre el modelo, sus diferentes actividades obtuvieron en algunos casos el 100% de aceptación mientras que en la actividad estructura solo obtuvo un 60%.

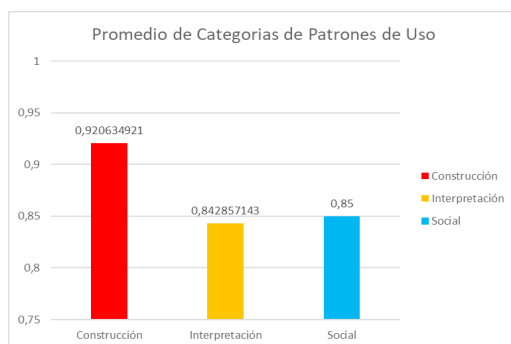


Figura 2 – Promedio de las actividades del patrón de uso

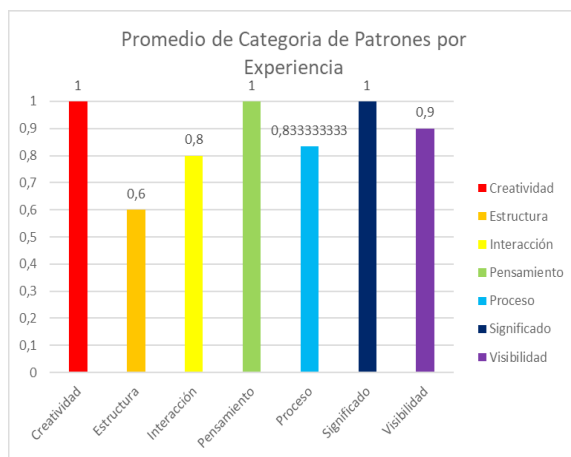


Figura 3 – Promedio de las actividades del patrón de experiencia

Al aplicar las ecuaciones (1) y (2) el resultado obtenido por VEE-PUX es de 0.87, lo que indica que se encuentra entre el rango Aceptación Alta, por lo que se puede categorizar que el modelo es eficiente en su uso por el usuario, como se muestra en la Tabla 9.

Rubrica de Patrón de Uso	Promedio de Patron de Uso
Construcción	0,92
Interpretación	0,84
Social	0,85
VEE-PUX	0,87

Tabla 9 – Valor de Estimación de Eficiencia obtenido al aplica PUX sobre el modelo

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este documento se creó una rúbrica para aplicar los patrones PUX de uso y de experiencia en un método gráfico para la educación de requisitos. Según los resultados obtenidos, este método es apto para ser aplicado en la ingeniería de software. Con la aplicación del patrón PUX se puede enfatizar las experiencias del usuario en sus propiedades formales del método en su representación gráfica incluyendo que la herramienta puede manipular las tareas y sus actividades en las que participa el usuario, ya que no solo se centra en la parte visual sino también en la notación en sí.

Esta evaluación arrojó que este modelo hace interactuar al usuario con la notación y la representación, además de la experiencia que el usuario puede encontrar valiosa dependiendo de la actividad en la que participa desde una perspectiva teórica y práctica.

Respecto a la rúbrica se ha pretendido que sea de fácil uso y aplicable a las distintas actividades de los patrones de PUX para que pueda ser utilizada para distintos métodos de representaciones gráficas, buscando una evaluación generalizada. Se espera sea una real contribución a la evaluación de nuevos métodos y un elemento agregado al ser aplicado.

Uno de los aspectos más bajos en la evaluación fue la estructura ya que el modelo identifica en forma poco clara las relaciones entre un evento de dominio y un evento adyacentes, además de que las relaciones entre actividades y usuarios son confusas.

Cabe notar que los resultados expuestos están aplicados a este método en particular, por lo que se debe replicar la evaluación del patrón PUX en otros estudios para realizar una validación juiciosa y responsables. Aunque los resultados son favorables en este punto es necesario seguir analizando otras investigaciones para poder ver la posibilidad de generalización y poder calibrar el instrumento.

Referencias

- Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (n.d.). A Pattern Language.
- Blackwell, A. (2015). Patterns of User Experience in Performance Programming. In Proceedings of the First International Conference on Live Coding (pp. 12–22). Leeds, United Kingdom: ICSRiM, University of Leeds. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19315>

- Blackwell, A. F., & Fincher, S. (2010). PUX: patterns of user experience. *Interactions*, 17(2), 27–31.
- Brooks, F.P. (1987). No Silver Bullet Essence and Accidents of Software Engineering. *Computer*, 20(4), pp.: 10–19. doi:10.1109/MC.1987.1663532.
- Carrizo, D. (2013). *Contextual dynamic of the software requirements elicitation*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 69, pp. 34–52.
- Carrizo D., Ortiz C. (2018). Hacia un Marco basado en Contexto para la Gestión del Proceso de Educación de Requisitos Software. *Actas 13ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información CISTI'2018*, Cáceres. España, 13- 16 de Junio. 2018.
- Crilly, N., Blackwell, A. F., & Clarkson. (2012). Graphic elicitation: using research diagrams as interview stimuli. *SAGE Visual Methods*, 4(3), 283–308.
- Crilly, N., Blackwell, A. F., & Clarkson, P. J. (2006). Graphic elicitation: using research diagrams as interview stimuli. *Qualitative Research*, 6(3), 341–366.
- Green, T. R. G. (1989). Cognitive dimensions of notations. *People and Computers V*, 443–460.
- Jitnah, D., Han J. y Steele, P. (1995). *Software Requirements Engineering: An Overview*. Penins. Sch. Comput. Inf. Technol. Monash Univ.
- Richards, C. (n.d.). Introduction : living with diagrams, 1–22.
- Sharma S. y Pandey (2014). Requirements elicitation: Issues and challenges. *IEEE International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. pp. 151–155. doi:10.1109/IndiaCom.2014.6828119.

Software educacional para estudo de Entomologia Básica, utilizando inteligência artificial

Marcos Vinícius de Souza Toledo¹, Bruno de Souza Toledo², Karina Dutra de Carvalho Lemos³, Luiz Cláudio Gomes Maia⁴

marcos.toledo@ifmg.edu.br, bruno.toledo@ifmg.edu.br, karina.dutra@ifmg.edu.br, luiz.maia@fumecc.br

¹ Universidade FUMEC, Governador Valadares, 35.020-670, Minas Gerais, Brasil

² Universidade FUMEC, Governador Valadares, 35.020-670, Minas Gerais, Brasil

³ Universidade FUMEC, São João Evangelista, 39.705-000, Minas Gerais, Brasil

⁴ Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 30.310-190, Minas Gerais, Brasil

Pages: 668–680

Resumo: Os insetos existem há 250 milhões de anos e representam 80% de todas as espécies de animais conhecidas. A classificação torna-se importante, sendo distinguida pelos efeitos prejudiciais das pragas em conjunto dos benefícios dos outros insetos que são essenciais para a vida terrestre. O presente estudo tem o objetivo de desenvolver um software para o auxílio da identificação das principais ordens e famílias de insetos, e para isso, baseou-se na fundamentação teórica sobre Entomologia e Software Educacional. A metodologia da pesquisa é caracterizada como descritiva e qualitativa. Os resultados descrevem os dados obtidos por meios de testes que analisam as funcionalidades gerais, como também, a experiência dos alunos ao utilizarem o sistema. Os dados obtidos indicam que o software segue as normas de usabilidade, sendo interativo e intuitivo e atende ao requisito de software educacional ao proporcionar um ambiente de aprendizado dinâmico e interativo.

Palavras-chave: Insetos; Entomologia; Chaves de Classificação; Software Educacional; Alunos.

Educational Software Development for Insect Identification and Classification

Abstract: Insects have been around for 250 million years and represent 80% of all known animal species. Classification becomes important and is distinguished by the harmful effects of pests combined with the benefits of other insects that are essential for terrestrial life. The present study aims to develop software to help identify the main orders and families of insects, based on the theoretical foundation on Entomology and Educational Software. The research methodology is characterized as descriptive and qualitative. The results describe the data obtained by means of tests that analyze the general functionalities, as well as the students' experience using the system. The data obtained indicate that the software follows the usability

standards, being interactive and intuitive and meets the requirement of educational software by providing a dynamic and interactive learning environment.

Keywords: Insects; Entomology; Classification Keys; Educational Software; Students.

1. Introdução

Diversos insetos são extremamente valiosos para o ser humano e sem eles a sociedade não poderia existir. As abelhas, por exemplo, são essenciais para a polinização, um processo de troca de pólen entre as flores femininas e masculinas resultando na reprodução, que contribui na biodiversidade e cria amplas colheitas agrícolas, como também o bicho-da-seda que é responsável pela produção da seda, dentre outros (COSTA et al., 2011).

A ciência que estuda os insetos sob todos os aspectos é denominada de Entomologia, do grego *entomon* – inseto, sulcado, anelado, com o corpo segmentado. A Entomologia estabelece relações com os seres humanos (Entomologia médica), plantas (Entomologia agrícola e florestal), animais (Entomologia veterinária), e com os insetos (Entomologia agrícola) que realiza o estudo das pragas agrícolas causadoras dos danos às plantas cultivadas e dos métodos para controlá-las (GALLO et al., 2012).

Os insetos existem há 250 milhões de anos, representando 80% de todas as espécies de animais conhecidas, e estima-se hoje que existam aproximadamente cerca de um milhão de espécies identificadas e 2-5 milhões de espécies ainda não são conhecidos (LEITE, 2011). Os alunos dos cursos Bacharelado em Agronomia e Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia possuem em suas grades curriculares as disciplinas de Entomologia Básica, Agrícola e Florestal na qual estudam como identificar, coletar e classificar os insetos, mas não existia *software* sendo usado no *campus*, ou algum com patente registrada em bases nacionais ou internacionais, de acordo com o NIT (Núcleo de Inovação Tecnológica), órgão responsável pelas análises e busca de registros de *software*, para a realização de tal classificação. Não foi identificado pelos pesquisadores outro tipo de *software* de classificação em contextos semelhantes sendo utilizado em outra instituição ou estudo para desenvolvimento do mesmo, nas pesquisas realizadas nas mais diversas bases de dados nacionais e internacionais.

O presente estudo teve o objetivo de desenvolver um *software* para auxiliar na identificação das principais ordens e famílias de insetos. Esse recurso pode auxiliar os professores em suas aulas, favorecendo a aprendizagem dos alunos, e também os profissionais em suas pesquisas e análises entomológicas. O *software* em questão fornece opções de chaves para o usuário, que irá escolher de acordo com a observação do inseto, e após seguir os passos, chegará à identificação. Conta também com imagens em cada etapa com caracteres da ordem e família para exemplificação, facilitando a escolha dos passos.

Este trabalho está organizado em cinco seções. A primeira apresenta uma introdução e o objetivo da pesquisa. A segunda contempla a fundamentação teórica e apresenta os principais conceitos e abordagens sobre o tema. A terceira seção descreve a metodologia aplicada na realização da pesquisa. A quarta contém os resultados e as discussões da pesquisa. E por fim, a quinta e última seção destaca as considerações finais e trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção abordará informações que fundamentam a pesquisa, na qual compreende autores que orientam sobre Entomologia abrangendo a biodiversidades dos insetos, efeitos na sociedade e como classificá-los, bem como autores que se posicionam sobre o uso da tecnologia para o desenvolvimento de um *software* educacional.

2.1. Os Insetos

Aproximadamente 95% das espécies dos animais conhecidas pertencem ao grupo dos invertebrados e para facilitar o estudo, estes são divididos em grupos denominados Filos, o de maior importância agrícola é o *Arthropoda* que corresponde a 80% do Reino Animal. O Filo *Arthropoda* é dividido em diversas Classes e algumas têm relevância agrícola, mas a Classe *Insecta* é a de maior tamanho e de maior número de pragas (GALLO et al., 2012).

A Classe *Insecta* é composta por 53% do total de todos os organismos vivos, sendo o maior grupo existente atualmente (HALFFTER, MORENO & PINEDA, 2011). De acordo com Triplehorn & Johnson (2015), dentro das Classes, os insetos estão agrupados em ordens, famílias, gêneros e espécies, e uma ordem pode ter mais de trezentas mil espécies. Os insetos se diferenciam de outros artrópodes por possuírem três pares de pernas, terem o corpo segmentado em cabeça, tórax e abdômen e podem ser terrestres, aquáticos e semiaquáticos.

2.2. Os Insetos em Âmbito Agrícola, Médico e Social

Os insetos estão associados à sobrevivência humana, pois, alguns causam danos à saúde, outros prejudicam a agricultura e horticultura e certos insetos beneficiam a sociedade, como as abelhas que além de produzir o mel são importantes polinizadores e sem o trabalho delas, estima-se um gasto de cinco bilhões de dólares anualmente para realizar a polinização (GULLAN & CRANSTON, 2010).

Santos (2013) define praga agrícola ou florestal como organismos que podem causar danos as plantas ou a seus produtos, podendo afetar a qualidade e o rendimento dos mesmos por meio da sucção de seiva, do consumo direto dos tecidos das plantas, frutos ou sementes e transmissão de doenças.

Em regiões tropicais e subtropicais, a atenção científica é voltada para esses insetos transmissores, uma vez que, são responsáveis por doenças importantes, tais como a malária, dengue, febre amarela, oncocercose, leishmaniose, filariose (elefantíase) e tripanossomíase (doença do sono) (GULLAN & CRANSTON, 2010).

2.3. Chaves de Classificação

A identificação e classificação dos insetos tem como objetivo reuni-los em grupos de acordo com algumas afinidades biológicas e é fundamental para um controle e manejo eficiente desses invertebrados. A primeira classificação de insetos foi realizada por Linnaeus em 1758 e identificou algumas ordens: *Coleoptera*, *Neuroptera*, *Lepidoptera*, *Diptera*, *Hymenoptera* e *Hemiptera* (COSTA et al., 2011).

Um inseto pode ser identificado comparando-o com exemplares em uma coleção ou com ilustrações e descrições, recorrendo a um especialista ou utilizando chaves de classificação. Na maioria das vezes, não é possível um auxílio de um especialista ou o acesso a exemplares ou ilustrações, dessa forma a solução é recorrer às chaves de classificação (GALLO et al., 2012).

Segundo Costa et al. (2011), uma chave de identificação é composta por várias entradas, na qual em cada, estão duas alternativas distintas e de acordo com a escolha, passa-se para a próxima até a identificação da espécie.

As chaves de identificação é a forma de classificação mais usada, mas podem acontecer alguns problemas, como por exemplo, a variação de muitas características dos insetos que pode dificultar a escolha da opção certa e, dessa forma, é necessário buscar novas alternativas incluindo técnicas relacionadas à tecnologia (LEITE & MENDES DE SÁ, 2010). A individualidade nos procedimentos no processo de construção das chaves estimulou o desenvolvimento de sistemas de identificação por computador, capazes de construir chaves com procedimentos bem definidos a partir de dados fornecidos por especialistas e também possibilitar uma identificação mais rápida, pois as chaves por computador são mais flexíveis, permitindo a inclusão de novos caracteres e revisões por outros (CAVALCANTI & SANTOS-SILVA, 2009).

2.4. Sistemas Especialistas

O *software* utiliza dos conhecimentos dos profissionais entomológicos, pois, foi desenvolvido baseando-se nas chaves de classificação de insetos criadas por esses profissionais. Esse tipo de comportamento é caracterizado como um Sistema Especialista (SE) (SPIRLANDELLI et al., 2011).

Py (2009) afirma que um sistema especialista (SE) pode ser visto como uma subárea da Inteligência Artificial, desenvolvido a partir da necessidade de se processar informações não numéricas, um sistema especialista é capaz de apresentar conclusões sobre um determinado tema, desde que devidamente orientado e “alimentado”. Sistemas Especialistas apoiam tomadas de decisões reunindo conhecimento sobre áreas específicas e são capazes de simular o comportamento humano. Os Sistemas Especialistas não são influenciados por elementos externos como acontecem com pessoas especialistas que estão sujeitas a emoções, pressões e outros fatores, como também, os SE possuem uma base de dados ilimitada e, dessa forma, pode-se concluir que a máquina seria teoricamente superior ao humano na tomada de decisões se forem alimentados com as mesmas fontes de conhecimento (BARRETO e PREZOTO, 2010).

2.5. Software Educacional

A informática é considerada uma ponte entre a teoria e a prática dentro das salas de aula. O computador permite que as pessoas tenham experiências, produzam textos ou realizem pesquisas que poderiam nunca serem realizadas por meios reais ou por falta de uma boa infraestrutura da escola (TEIXEIRA & ARAÚJO, 2017). Estes recursos motivam os estudantes e instituem uma nova forma de aprendizagem na qual permite que cada aluno avance em seu ritmo e de acordo com seus níveis de conhecimento (LEITE et al., 2009).

Considera-se um *software* como educacional quando o mesmo é utilizado de forma correta nos processos de ensino-aprendizagem. As características desse tipo de *software* são a concepção e criação fundamentadas na aprendizagem, além da capacidade do próprio estudante de desenvolver um conhecimento sobre determinado assunto (JUCÁ, 2016).

O educador pode fazer o uso de *software* educacional para ter um suporte ao processo de ensino-aprendizagem nos diferentes conteúdos ministrados, e dessa forma, o aluno se torna um ser ativo na construção do conhecimento, direcionado pelo professor (TOLEDO & OLIVEIRA, 2016).

3. Metodologia

Esta seção aborda a natureza da pesquisa, bem como a identificação do caráter da pesquisa, a população da amostra, os instrumentos utilizados, métodos e procedimentos, o tratamento dos dados e a prototipação do sistema.

3.1. Natureza da Pesquisa

A metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto teve caráter descritivo, que tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Nesse tipo de pesquisa não pode haver interferência do pesquisador, que deve apenas descobrir a frequência com que o fenômeno acontece ou como se estrutura e funciona um sistema, método, processo ou realidade operacional (GIL, 2018). A pesquisa possui caráter qualitativo, pois seu relatório contém a definição de um *software* para auxiliar profissionais da área do objeto de estudo citados nas seções anteriores, professores e alunos.

Os pesquisadores que utilizam de métodos qualitativos buscam respostas para os porquês, e assim, o objetivo desse caráter de pesquisa é produzir novas informações aprofundadas e ilustrativas (GERHARDT & SILVEIRA, 2019).

3.2. População e Amostra

Este estudo adotou como unidade de análise um profissional, o professor e doutor na área entomológica do Instituto Federal, e os alunos dos cursos de Bacharelado em Agronomia e Bacharelado em Engenharia Florestal que participaram da pesquisa e receberam a capacitação do uso do *software* e averiguaram a qualidade, adequação e aplicação do mesmo e, ainda, quais as mudanças ocasionadas pela sua utilização.

Foram vinte e cinco alunos respondentes do questionário. Cinco alunos do curso de Agronomia que já cursaram as disciplinas para realização dos testes e vinte alunos do curso de Engenharia Florestal que estão cursando as disciplinas para analisar as questões de usabilidade e quesitos educacionais.

3.3. Instrumentos Utilizados

As pesquisas foram direcionadas para verificação do desenvolvimento do *software* por meio de uma revisão de literatura que constituiu a fundamentação teórica do trabalho

desenvolvido, tendo por base livros e artigos científicos que justificam e descrevem as inúmeras potencialidades e habilidades disponibilizadas pela aplicabilidade e uso do sistema.

Os pesquisadores utilizaram como base, o projeto de pesquisa interno do Instituto Federal, cujo objetivo foi desenvolver um *software* para classificação de algumas ordens de insetos e disponibilizá-lo para o professor da área de Entomologia e os alunos dos cursos Bacharelado em Agronomia e Bacharelado em Engenharia Florestal para utilizarem em sala de aula. O projeto de pesquisa interno foi financiado pelo Instituição Federal de Ensino, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) que tem como objetivo estimular estudantes do ensino superior as práticas de desenvolvimento tecnológico e processos de inovação (CNPQ, 2016).

Os dados coletados para o desenvolvimento do *software* foram através da análise e levantamento de requisitos feitos com o professor e alunos dos cursos Bacharelado em Agronomia e Bacharelado em Engenharia Florestal.

O presente trabalho utilizou a aplicação de dois questionários. O primeiro, aos alunos que já cursaram as disciplinas de Entomologia Básica, Agrícola e ou Florestal para testar as funcionalidades gerais do *software*, e o segundo aos alunos que estão cursando as disciplinas para avaliar suas satisfações ou insatisfações em relação ao sistema e sua operação, buscando investigar as mudanças ocasionadas com a aplicação em sala de aula.

Para a estruturação dos questionários, foram usados critérios de avaliação de *software* educativo, conforme as quatro categorias propostas por Oliveira; Costa; Moreira (2001): (1) Interação aluno-*software* educacional-professor, relacionado à facilidade de uso, adequação das atividades pedagógicas, adequação dos recursos de mídia, interatividade social e o favorecimento do papel de facilitador do professor, (2) Fundamentação pedagógica, aborda a estrutura pedagógica, adequação à situação de aprendizagem, variedade de abordagens e conhecimentos prévios, (3) Conteúdo, mostra os níveis de exigência com a área selecionada, relação, correção e atualidade do conteúdo e metodologia e, (4) Programação, exibe a credibilidade conceitual, legibilidade, manutenibilidade e documentação.

Por meio dos critérios de Oliveira; Costa; Moreira (2001) foi adaptado pelos pesquisadores, o questionário de Toledo e Oliveira (2016) que faz referência ao uso de *software* educacional.

3.4. Métodos e Procedimentos

Os métodos utilizados na concepção e construção do sistema consistem na análise dos requisitos, modelagem dos dados, desenvolvimento do *software* e realização de testes.

Na análise de requisitos, foi realizada reuniões e entrevistas com o professor doutor especialista em Entomologia e com os alunos dos cursos Bacharelado em Agronomia e Bacharelado em Engenharia Florestal, para entender quais as necessidades precisam ser atendidas e implementadas no *software*.

Após o entendimento de quais ordens e famílias de insetos precisam abranger o *software* e como seria o melhor funcionamento para atender os usuários, foi feito a

modelagem dos dados, na qual desenvolveu diagramas utilizando as notações UML (Linguagem de Modelagem Unificada) para um melhor entendimento dos requisitos identificados e posteriormente, usados para a documentação do sistema. Terminada a fase de modelagem, criou-se um repositório com o GIT (Sistema de Controle de Versões Distribuídas) para trabalhar com o versionamento de código e depois, a definição da interface do *software*.

Para a idealização e criação da interface, utilizou a linguagem HTML (Linguagem de Marcação de Hipertexto) para a marcação, orientações e estruturação de todos os elementos e CSS (Folha de Estilos em Cascata) para as formatações, como tamanhos, cores, fontes de letras, posicionamento e o aspecto visual da página de uma forma geral. No desenvolvimento da interface, sempre foi considerado regras de responsividade que consiste na adaptação do *software* para qualquer tipo de monitor, tela ou dispositivo móvel.

Além das chaves de identificação, em cada passo tem um número específico de imagens para auxílio na escolha, somando um total de 253 imagens, e dessa forma, os códigos para as referenciar seriam muito extensos dificultando o desenvolvimento, análise e correção de erros. Para resolver esse problema, usou-se os arquivos JSON (Objeto de Notação de Java Script) com informações das imagens de cada passo presentes nas chaves, logo, teve uma grande economia de código com uma estruturação otimizada e uma fácil e simples correção de erros.

3.5. Tratamento dos Dados

Após a aplicação dos procedimentos, foi realizado o tratamento dos dados coletados na pesquisa através de testes de usabilidade, gerando um relatório para análise qualitativa, em que os dados foram resumidos, organizados e descritos. Depois de definidos os aspectos mais importantes de um grupo de características, os dados foram relacionados entre conjuntos. Nesses testes tiveram a participação de todas as partes envolvidas através dos questionários.

As respostas dos questionários aplicados aos alunos foram analisadas de forma qualitativa, pois tratou-se de verificar a aceitação dos alunos em relação ao funcionamento e desempenho do *software*, além de ser feito a documentação dos sistemas. Após os testes de utilização/ambientação com a amostragem da pesquisa os mesmos solicitaram a disponibilização final do *software* desenvolvido de forma online para acesso a qualquer momento, em sua versão final no site do Instituto.

3.6. Prototipação

A prototipação tem como objetivo facilitar a interação do desenvolvedor, o *software* e os possíveis usuários e proporcionar um melhor entendimento do sistema desenvolvido. A Figura 1 apresenta a tela inicial que contém a logomarca do sistema e três botões com distintas funções: “Ajuda”, “Iniciar busca pela Ordem” e “Conhece a Ordem, Iniciar busca pela Família”. A base de dados dos sistemas especialistas são ilimitadas, podendo ter alterações constantes e aprimoramento do *software* de forma contínua. Ao clicar no botão “Iniciar a busca pela Ordem” presente na tela inicial, é apresentada uma página com passos para identificação da ordem. Essa página possui os passos percorridos pelo

usuário do *software*, botão voltar que direciona para o passo anterior, a informação de qual passo está e outros dois botões que representam um passo da chave de classificação, que ao ser escolhido, exhibe o próximo passo ou a ordem referente.



Figura 1 – Tela Inicial

Também possui um número específico de imagens em cada passo para servir de exemplo e auxiliar na escolha certa, representada na Figura 2.



Figura 2 – Identificação da Ordem

Ao selecionar as características do inseto observado, são mostrados os próximos passos até a identificação da ordem correspondente. Se o usuário do sistema já conhecer a ordem do inseto, ele pode começar a busca diretamente da família. Para isso, é preciso selecionar o botão “Conhece a Ordem, iniciar busca pela Família” presente na tela inicial, na qual aparecerá outra tela, conforme a Figura 3, listando as ordens com chaves de famílias.

A tela de identificação da família possui as mesmas características, botões e funcionalidades da tela de identificação das ordens, mudando apenas as informações contidas em cada passo. Em cada passo possui um número específico de imagens, e para uma melhor visualização, ao ser clicada, a imagem é apresentada em um tamanho maior.



Figura 3 - Lista de Ordens com chave de Família

4. Resultados e Discussão

Para apresentação dos resultados dos questionários, foram elaborados quadros sobre os questionários, seguidos da análise dos dados obtidos. A análise utilizada na pesquisa qualitativa aplicada aos alunos foi feita de modo descritivo, porque se pretendia analisar a experiência dos mesmos em relação ao uso do *software* educacional.

4.1. Análise qualitativa do uso do software educacional

O emprego do *software* para auxílio dos alunos e professor no Instituto aconteceu de forma prática e teórico-prática, por meio de simulações e demonstrações na parte prática e explicações sobre o uso juntamente com as demonstrações quando teórico-prático. Durante a realização da capacitação, foram disponibilizadas informações de apoio ao uso e testes com o pesquisador, para exploração do *software* educacional. Tendo em vista que o instrumento utilizado para a coleta de dados foi composto basicamente por escalas de resposta do tipo Likert de 5 pontos (5 - Concordo plenamente, 4 - Concordo parcialmente, 3 - Nem concordo nem discordo, 2 - Discordo parcialmente, 1 - Discordo totalmente). O Quadro 1 mostra o questionário com 8 questões, sendo 7 fechadas e 1 aberta, aplicado aos alunos que já cursaram as disciplinas de Entomologia. Esse questionário visou analisar as funcionalidades do *software*, como também sua aplicabilidade na área profissional. Foram cinco alunos respondentes.

Q1 O <i>software</i> é de fácil uso
Q2 Dos métodos utilizados, qual considera mais eficiente
Q3 O <i>software</i> apresentou alguma situação inesperada
Q4 Mudaria algo no <i>software</i>
Q5 O <i>software</i> forneceu alguma informação errada
Q6 Comente algo sobre a interface do <i>software</i> (cores, letras, posições, tamanhos) e o que achou da apresentação das imagens presentes em cada passo
Q7 Dos métodos utilizados, qual foi o mais rápido e com menos chances de erro
Q8 Descreva, se houver, alguma crítica ao sistema (positiva ou não)

Quadro 1 – Questionário para Análise Profissional

As questões presentes no Quadro 1 buscaram investigar a experiência dos usuários já conhecedores do tema. As questões (Q1, Q3, Q4 e Q6) foram feitas analisando as afirmações sobre usabilidade, conforme Preece, Rogers & Sharp (2013). As questões (Q2, Q5, Q7 e Q8) são para averiguar se as funcionalidades e informações fornecidas pelo *software* estão de acordo com as afirmativas do referencial entomológico presente nesse trabalho e com as chaves de classificação propostas por Gallo et al. (2012). O Quadro 2 exhibe os atributos relativos à utilização do *software* pelos alunos e o professor. As variáveis que identificam esses indicadores foram estabelecidas com as iniciais “Q”, sendo que a numeração que as acompanham indica a localização das sentenças no questionário, em um total de vinte e cinco questões. O questionário do Quadro 2 foi respondido por vinte alunos, que analisaram a usabilidade e a utilização durante as aulas.

Q1 O <i>software</i> é de fácil compreensão e uso
Q2 O <i>software</i> mantém interação constante ao usá-lo
Q3 O <i>software</i> contém recursos motivacionais que despertaram sua atenção
Q4 Há acesso a ajudas, para encaminhar a respostas certas
Q5 Há facilidade de leitura da tela para obter uma interação adequada
Q6 O uso de ilustrações desperta, mantém e reforça a atenção e a motivação
Q7 O uso de cor desperta, mantém e reforça a atenção e a motivação
Q8 O uso de recursos visuais (imagens) desperta, mantém e reforça a atenção e a motivação
Q9 Há apresentação parcial dos resultados
Q10 Há apresentação dos resultados para saber a sua posição diante do conteúdo aprendido
Q11 O vocabulário é adequado para compreender o conteúdo e o que está sendo pedido
Q12 Os comandos pedidos pelo <i>software</i> são claros
Q13 O <i>software</i> tem estabilidade
Q14 Há uso de ícones
Q15 O tempo para exposição de telas é adequado
Q16 O <i>software</i> orienta como usá-lo
Q17 Gostou da aula com o uso do <i>software</i>
Q18 É mais fácil de realizar as tarefas escolares e de estudar os conteúdos
Q19 Permite fácil interação com os professores
Q20 Torna o aprendizado mais dinâmico e interessante
Q21 Permite ampliação do conhecimento além do conteúdo ministrado em sala
Q22 Há interesse maior pelas aulas com o uso do <i>software</i>
Q23 Aprendeu melhor com o uso do <i>software</i>
Q24 O <i>software</i> garantiu um ambiente de aprendizado mais rico
Q25 Algum comentário ou crítica a respeito do <i>software</i> e/ou sua utilização

Quadro 2 – Questionário para Análise Educacional

As questões do questionário do Quadro 2 foram feitas baseando-se nas afirmações sobre *design* de interação e em *software* educacional. As dezesseis primeiras questões (Q1 a Q16) são para identificar o nível de usabilidade do sistema, pois, a interface como também, as funcionalidades do *software* são fatores cruciais para que haja maior aproveitamento do recurso (PREECE, ROGERS & SHARP, 2013).

As questões (Q17 a Q24) foram para analisar o impacto que o *software* exerceu dentro da sala de aula e investigar se aconteceram melhorias no processo de ensino-aprendizagem, na interação com o professor e no interesse por parte dos alunos no conteúdo apresentado (LEITE et al., 2009).

A questão (Q25) é para analisar opiniões a respeito do funcionamento do *software* e sua aplicação. O Quadro 2 mostra o questionário com 25 questões, sendo 24 fechadas e 1 aberta.

4.2. Resultados dos dados

Na realização dos testes para analisar as funcionalidades, foram selecionados cinco alunos do curso de Bacharelado em Agronomia que já cursaram as disciplinas de Entomologia Básica, Agrícola e ou Florestal e foram entregues para cada aluno, sete insetos para que identificassem utilizando primeiro à forma tradicional, as chaves de classificação impressas, e posteriormente, foi realizado o mesmo processo com o *software*.

Verificou-se nos resultados dos testes, o método tradicional teve um percentual de 85% de classificações corretas das ordens dos insetos. Já com a utilização do *software* teve 100% de acertos nas mesmas classificações. Para melhores e mais abrangentes resultados são necessários à realização de outros testes com um número maior de alunos, para maior confiabilidade dos dados. Através destes dados obtidos, averigua-se após o uso do *software* pelos usuários já conhecedores do tema, que as suas funcionalidades e informações fornecidas estão de acordo com as afirmativas do referencial entomológico e com as chaves de classificação propostas por Gallo et al. (2012).

Depois de realizados os testes, os cinco alunos do curso de Bacharelado em Agronomia responderam o questionário do Quadro 1. As respostas indicam que teve uma ótima aceitação do *software* pela parte profissional, pois todos os alunos afirmaram que o *software* é mais preciso, rápido e prático para realizar as classificações do que as chaves impressas. Entretanto, um aluno afirmou preferir o uso das chaves impressas por motivos de comodismo.

Para analisar os quesitos funcionais e educacionais do *software*, o professor de Entomologia do Instituto Federal ministrou uma aula com o seu uso, e após os alunos responderam o questionário do Quadro 2. Os dados coletados indicam que o *software* é de fácil uso, os comandos pedidos são claros, é estável e atende as normas de usabilidade de Preece, Rogers & Sharp (2013).

Observa-se que todos os alunos participantes da pesquisa afirmaram que o sistema que tem o nome de *Insects*, atende como um *software* educacional e proporciona um maior aprendizado, facilita a interação com o professor, torna o aprendizado mais dinâmico e interessante, no qual permite ampliação do conhecimento além do conteúdo ministrado em sala, e garante um ambiente de aprendizado mais rico.

5. Conclusões

O *software Insects* está em funcionamento e o objetivo proposto na pesquisa que foi desenvolver um sistema para o auxílio na identificação das principais ordens e famílias de insetos foi alcançado com sua construção. A realização dos testes e as aplicações dos questionários proporcionaram um enriquecimento para o estudo, uma vez que analisaram duas vertentes: profissional e educacional.

O *software* teve boa aceitação por parte de todos os envolvidos durante o trabalho, mas observaram-se diferentes opiniões entre os alunos estudantes das disciplinas e aqueles que já cursaram. O *Insects* teve uma maior aceitação e preferência por aqueles que estão cursando a disciplina, porque não aprofundaram ainda os estudos utilizando as chaves impressas, e podem estar mais suscetíveis ao aprendizado com novas ferramentas. Os outros alunos que já estudaram e praticaram a classificação de insetos com as chaves tradicionais tiveram maior resistência na troca do método de classificação, mesmo que em sua maioria, preferiram o *software Insects* como primeira escolha de trabalho.

Como propostas de trabalhos futuros, o *software* pode abranger ordens e famílias dos insetos encontrados na América Central e na América do Sul (Região Neotropical) em suas fases adultas e jovens, podendo gerar uma base de dados mais abrangente. Outra melhoria para o *software* é em relação às imagens, que podem ser adicionadas funcionalidades de rotação em 360°, gerando uma melhor visualização dos caracteres dos insetos.

Referências

- BARRETO, L. & PREZOTO, M. (2010). Introdução a sistemas especialistas. Obtido em: http://www.ft.unicamp.br/liag/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_sistemasEspecialistas.pdf.
- CAVALCANTI, M. J. & SANTOS-SILVA, E. N. (2009). *Free Delta*: um sistema de software livre para o processamento de descrições taxonômicas. Obtido em: <http://biotupe.org/livro/vol2/pdf/Capitulo%207%20-%20Mauro&Nelson.pdf>.
- CNPQ (2016). *PIBITI*: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Obtido em: <http://cnpq.br/pibiti>.
- COSTA, E. C. et al. (2011). *Entomologia Florestal*. (2ª Ed.). Rio Grande Do Sul, Santa Maria: UFSM editora.
- GALLO, D. et al. (2012). *Entomologia Agrícola*. (10ª Ed.). São Paulo, Piracicaba: FEALQ editora.
- GERHARDT, T. E., & SILVEIRA, D. T. (2019). *Métodos de pesquisa*. Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS editora.
- GIL, A. C. (2018). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (6ª Ed.). São Paulo, São Paulo: Atlas editora.
- GULLAN, P. J., & CRANSTON, P. S. (2010). *Os Insetos*: um resumo de Entomologia. (4ª Ed.). São Paulo, São Paulo: Roca Ltda. editora.

- HALFFTER, G., MORENO, C. E., & PINEDA, E. O. (2011). *Manual para evaluación de la biodiversidade en Reservas de la Biosfera*. Zaragoza: Sociedad Entomologica Aragoneza, 1 (2), 1-82. Obtido em: <http://sea-entomologia.org/PDF/MTSEA02.pdf>.
- JUCÁ, S. C. S. (2006). *A relevância dos softwares educativos na educação profissional*. Obtido em: http://cienciasecognicao.org/pdf/v08/cec_vol_8_m32689.pdf.
- LEITE, G. L. D. & MENDES DE SÁ, V. G. (2010). *Apostila Taxonomia, Nomenclatura e Identificação de Espécies*. Obtido em: http://www.ica.ufmg.br/insetario/images/apostilas/Apostila_Entomologia_Basica.pdf.
- LEITE, G.L.D. *Entomologia Básica*. Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Ciências Agrárias (2011). Obtido em: https://halley.admserv.ufmg.br/ica/wp-content/uploads/2017/06/ap_ent_basica.pdf.
- LEITE, M. D. et al. (2009). *Softwares Educativos e Objetos de Aprendizagem: Um Olhar Sobre a Análise Combinatória*. Obtido em: <http://www.ifesp.edu.br/ik/images/documentos/diversos/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20softwares%20educacionais.pdf>.
- PREECE, J., ROGERS, Y., & SHARP, H. (2013). *Design de interação: além da interação humano-computador*. (3ª Ed.). Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Bookman editora.
- PY, M. X. (2009). *Sistemas Especialistas: uma introdução*. Instituto de Informática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Obtido em: xa.yimg.com/kq/groups/21653899/19666511/name/sistemasespecialistas.pdf.
- SANTOS, B. (2013). *A origem e a importância dos insetos como praga das plantas cultivadas*. Universidade Federal do Paraná – SCB. Obtido em: http://people.ufpr.br/~parasito.florestal/arquivos/origem_praga.pdf.
- SPIRLANDELLI, L. P. et al. (2011). *Sistemas Especialistas: Um estudo de caso com o Expert Sinta*. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica. Obtido em: periodicos.unifacef.com.br/index.php/resiget/article/download/155/9.
- TEIXEIRA, N. P. C., & ARAÚJO, A. E. P. (2017). *Informática e Educação: uma reflexão sobre novas metodologias*. Revista Hipertextus, Garanhuns, 1 (13), 1-8. Obtido em: <http://www.hipertextus.net/volume1/artigo13-nubia-alberto.pdf>.
- TOLEDO, B. S.; & OLIVEIRA, L. C. V. (2016). *O Uso de Softwares Como Ferramenta de Ensino-Aprendizagem na Educação: Análise Quantitativa e Qualitativa no Instituto Federal de Minas Gerais*. (1ª Ed.). Alemanha, Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas editora.

Evaluando contribuciones de usabilidad en soluciones TIC-IOT para la agricultura: Una perspectiva desde la bibliometría

M. Dayahna Caro M.¹, Efrén Romero R.², M. Alexandra Espinosa C³, Cesar D. Guerrero⁴

Mcaro486@unab.edu.co, eromero21@unab.edu.co, mespinosa3@unab.edu.co, cguerrer@unab.edu.co

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

² Universidad Industrial de Santander UIS – Escuela de estudios industriales y empresariales. Cra 27 calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680002

³ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Programa de Ingeniería de Sistemas, Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

⁴ Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB – Av. 42 #48 - 11, Bucaramanga, Santander, Colombia. CP: 680003

Pages: 681–692

Resumen: Este estudio busca verificar el estado actual de la producción científica relacionada a los criterios de usabilidad en soluciones ofrecidas por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) - Internet de las cosas (IOT por sus siglas en inglés Internet of thing) en la agricultura, a partir de dos metodologías: La primera sigue el modelo del perfil de investigación (Research profile) que por medio de estadística descriptiva, analiza tendencias en la producción, autores y áreas de conocimiento empleando las bases de datos ofrecidas por Scopus y Web Of Science (WOS); la segunda será un análisis cuantitativo empleando los resultados obtenidos por VOSviewer, por medio de mapas de co-ocurrencia de palabras clave, de términos y de coautoría. Al final se realizará un mapa de superposición que determinará la relación entre ambas metodologías que ofrecerá al lector un análisis concreto sobre el área de investigación.

Palabras-clave: Usabilidad; Agricultura; Internet de las cosas, IOT, TIC, perfil de investigación, visualización científica, cuantitativa.

Evaluating usability contributions in ICT-IOT solutions for agriculture: A bibliometric perspective

Abstract: This study aims to verify the current state of scientific production related to usability approaches in the solutions offered by information and communication technologies (ICT) - Internet of Things (IOT) in agriculture, through two methodologies: The first one adopts the Research profile model which, by using descriptive statistics, analyzes trends in production, authors and areas of

knowledge using the databases offered by Scopus and Web Of Science; the second method involves a scientometric analysis using the results obtained by VOSviewer, using co-occurrence maps of key words, term analysis and co-author analysis. At the end an overlapping map will be made that will determine the relationship between both methodologies that will offer the reader a concrete analysis of the research area.

Keywords: Usability; Agriculture; Internet of things, ICT, IOT, research profile, scientific visualization, scientometrics.

1. Introducción

La preocupación mundial alrededor de la seguridad alimentaria de los territorios, se evidencia en el aumento de las publicaciones centradas en tópicos como la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. Según el Doctor Springmann en su artículo publicado en la revista Nature de 2018, “Options for keeping the food system within environmental limits”, se pronostica que para el año 2050, la población mundial tendrá serios problemas para satisfacer la demanda de alimentos necesaria para sobrevivir(Springmann et al., 2018). Internet de las cosas (IOT) ha establecido una serie de soluciones a la necesidad de optimizar la cantidad de producción de alimentos tales como sistemas de monitoreo remoto, herramientas de apoyo a la toma de decisiones, sistemas de irrigación automatizados.

El problema en países en vía de desarrollo está representada la brecha digital entre el campo y la ciudad que imposibilita la correcta transferencia tecnológica desarrollada en las urbes, a pesar que esto signifique un factor positivo de cambio para sus habitantes

Uno de los aspectos clave determinados por la academia para facilitar los procesos de transferencia tecnológica TIC, es la caracterización de experiencias exitosas en usabilidad empleada en el contexto de la agricultura, que de a pie a un compendio de pautas que sirvan de directrices para la comunidad científica sobre cómo deben desarrollarse tecnología en ambientes específicos como es el campo.

Con el fin de construir una caracterización objetiva de este dominio de investigación, se implementa una perspectiva Bibliométrica siguiendo los enfoques de Price en 1963, Garfield en 1972 y Porter en 2008. Utilizando un enfoque estadístico, se busca cuantificar atributos en las áreas de investigación empleando metadatos provenientes de un conjunto de publicaciones (Porter, A. L., Kongthon, A., & Lu, 2002). La bibliometría se caracteriza por estar compuesta de un conjunto de pasos sistematizados(Danthi, Wu, Shi, & Lauer, 2014) y de fácil implementación, ya que, a pesar de emplear modelos de autómatas para intentar explicar las relaciones entre los metadatos en un conjunto de artículos, realiza una visualización de resultados en grandes volúmenes de información, que reduce las limitaciones y distorsiones asociadas a la subjetividad en las evaluaciones(Liu, Yin, Liu, & Dunford, 2015). Generalmente, los análisis se basan en la información contenida en los campos bibliográficos de los artículos (metadatos), que se utilizan para obtener patrones y tendencias, y las propiedades internas y externas de un campo de investigación.

Este trabajo presenta una investigación empleando el modelo perfil de investigación (Martinez, Jaime, & Camacho, 2012) el cual emplea “*Técnicas, métodos y principios*

bibliométricos para analizar la literatura contextual, ampliar y mejorar la comprensión del panorama de investigación” (Helin, Kuula, Vizzi, Karjalainen, & Vovk, 2018)

2. Datos y métodos

Los datos que se presentan en este documento son seleccionados mediante una revisión sistemática de la literatura con los resultados obtenidos en los motores de búsqueda SCOPUS y WOS, siendo Web Of Science referenciador de publicaciones nucleicas y Scopus artículos encontrados en la periferia con lo cual se tiene un amplio espectro de publicaciones acotado por bases de datos de acceso pago. Las palabras claves fueron escogidas de acuerdo a experiencias previas del equipo de investigación generándose la siguiente ecuación de búsqueda All fields: (usability AND agr*) Refined by: [excluding] Web Of Science Categories: (Health Care Science Services Or Medical Informatics) y (ALL (usability)) AND (agr*) And (Exclude (Subjarea , “Medi”) Or Exclude (Subjarea “Math”)) . Los artículos que se seleccionados son en total 1521 de Scopus y 1688 de Web Of Science, y se excluyen del estudio todo lo relacionado todo lo relacionado con el área de las ciencias de la salud al no considerarse a fin con el tema (Agricultura).

Con el fin de generar las visualizaciones científicas, se usa el software VOS VIEWER, el cual ha sido utilizado en otros estudios para la visualización de redes sociales dentro de los procesos de análisis bibliométrico (Jose M. Merigo, Fabio Blanco-Mesa, Anna M. Gil-Lafuente, 2016; Martínez-Toro et al., 2019; Pohjola & Puusa, 2016) y la construcción de mapas, e interoperable con otros softwares libres.

En la primera fase, se presenta el perfil general de investigación del dominio de conocimiento compuesto por: perfil de producción anual, países, instituciones, revistas, autores y áreas. Para la segunda fase, se estudia el perfil de tema correspondiente a las palabras clave, sumado al perfil de tema relacionado con revistas, y se construyen las gráficas de co-ocurrencia de palabras clave (estructura semántica), a partir de metadatos extraídos de Scopus y WOS.

2.1. Mapas de co-ocurrencia de palabras y términos del campo de investigación

Se implementa un análisis de co-ocurrencia de palabras claves o “co-word analysis” (Liu et al., 2015). Este enfoque surge desde la cienciometría, con el fin de eliminar parte de la subjetividad que se genera desde los expertos e investigadores, al seleccionar las palabras clave de los estudios. Se construyen las gráficas de co-ocurrencia (estructura semántica) a partir de metadatos extraídos de la base de datos de Scopus y Web Of Science. Estas gráficas de co-ocurrencia de palabras clave, se construye con base al software VOS VIEWER (Eck & Waltman, 2013), el cual permite visualizar las relaciones o conexiones entre los términos de la muestra (van Eck & Waltman, 2010) y caracterizar la naturaleza emergente de los temas de investigación .

3. Resultados y discusión

Para el desarrollo del estudio, se consolida un “corpus” que incluye los metadatos extraídos de Scopus y Web Of Science. Para eliminar la restricción de la falta de compatibilidad

entre los metadatos de las diferentes fuentes, se usa el gestor bibliográfico Mendeley, con el fin de exportar un archivo unificado en formato estándar RIS.

Primera Fase: Perfil general de la investigación del dominio de conocimiento

Se explica la producción de documentos científicos anualmente, países, instituciones, revistas, autores y áreas de la base de datos Scopus.

3.1. Perfil de producción anual

La producción de documentos relacionados con la agricultura y usabilidad de soluciones TIC-IOT, se puede visualizar en la figura 1 en donde se identifica una tendencia creciente exponencial¹ entre los años 2001 y 2018.



Figura 1 – Perfil de producción anual por años

Perfil de producción Países

De acuerdo al indicador de productividad científica, se detecta que EE.UU es el único país que lidera la cantidad de publicaciones en ambas bases de datos en el área de investigación, seguidos por China, Reino Unido, Alemania, Canadá, India, Italia, España, Francia y Holanda (Figura 2). Con respecto a los otros países, su cantidad de documentos son significativos en SCOPUS (Azul) o en WOS (Naranja). Incluso algunos

¹ Se calcula para ambas tendencias el valor de R2 se encuentra muy cercano a uno (R2-Scopus = 0.98 y R2-WOS = 0.95)

países que se encuentran en el top de publicaciones con respecto de una base u otra, no fueron considerados por no mantener un comportamiento de sometimiento similar como lo son Sur Corea, Malasia, Sudáfrica e Irán. Con el análisis de este perfil, se corrobora que países en vía de desarrollo no se encuentra en el top 10 de publicaciones para dar solución a sus contextos.

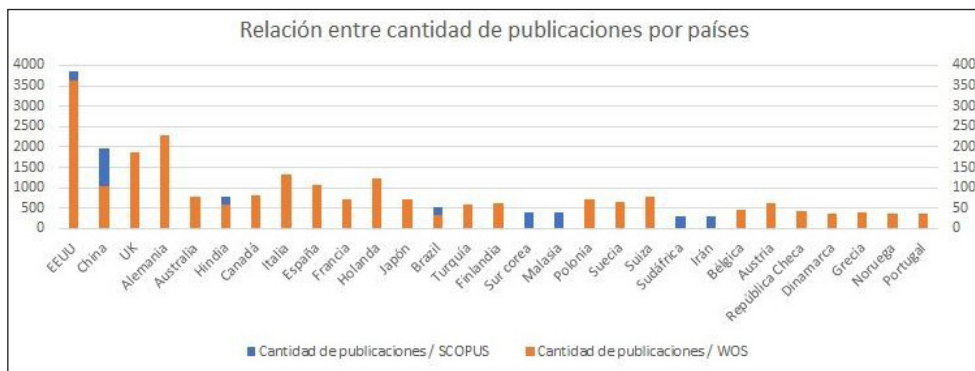


Figura 2 – Perfil de producción anual por países.

Perfil de producción instituciones

El perfil de instituciones, muestra un conjunto de universidades, centros de investigación y organizaciones gubernamentales donde se resalta Chines e Academy of Sciences, CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, Ministry of Education China, Ministry of Education China, INRA Institut National de La Recherche Agronomique, Wageningen University and Research Centre, que están relacionados fuertemente con el área de agricultura u ofrecen programas para su desarrollo. En relación con WOS no aparecen entidades gubernamentales si no dos universidades americanas (University of California System y University of Toronto), y tres europeas (Helmholtz Association, University of London y Wageningen University Research), las cuales muestran áreas relacionadas con el aseguramiento alimentario y el buen vivir en el campo.

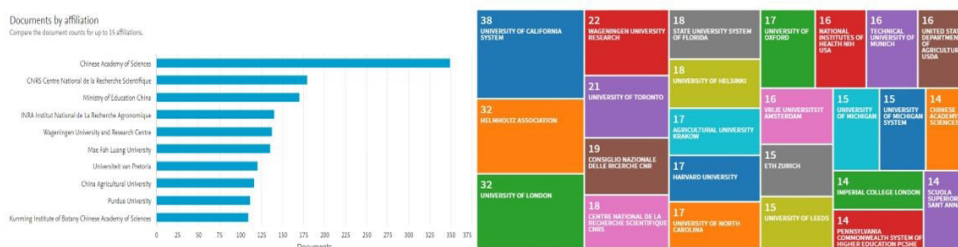


Figura 3 – Perfil de producción anual por instituciones

En cuanto a las organizaciones que ofrecen mayores patrocinios económicos para esta área de investigación aparecen en el top 10 de ambos motores de búsqueda la National Natural Science Foundation of China, National Science Foundation y European Commission .

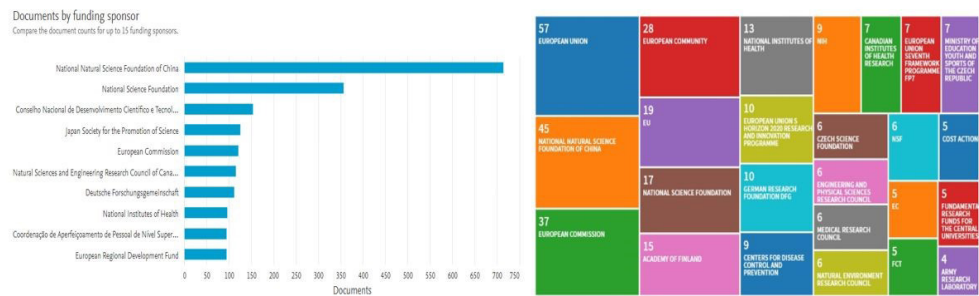


Figura 4 – Perfil de organizaciones que apoyan económicamente la investigación científica.

Perfil de producción por revistas

Las fuentes analizadas en Scopus muestran predilección por “proceeding” mientras que WOS registra en su top 10 revistas clasificadas de la siguiente forma de acuerdo a su área de conocimiento: 1)Agricultura y/o afines, 2) Ingeniería, 3) Human Computer Interaction y 4) Multidisciplinarias. Todas las revistas analizadas pertenecen al cuartil uno o al cuartil dos (ver tabla 1), y se caracterizan por ser revistas de alto impacto, siendo la más preponderantes las de EE.UU , Países Bajos y Reino Unido. Este resultado va acorde al análisis de publicación de países en donde se relaciona las revistas con el top 10 de países con mayor cantidad de publicaciones.

Motor de búsqueda	Revistas	País	Área de conocimiento	Cuartil
WOS	PLoS one	EEUU	Agricultura y ciencias biológicas	Q1
WOS	Sensors	Suiza	Ingeniería eléctrica y electronica	Q2
WOS	Computers and electronic in agriculture	Países Bajos	Agronomía y ciencias de cultivo	Q1
WOS	Applied ergonomics	Reino Unido	Engineering	Q1
			Human Factor and Ergonomics	Q1
SCOPUS	Scientific Reports	Reino Unido	Multidisciplinaria	Q1
WOS	Remote sensing	Suiza	Multidisciplinaria	Q1

Motor de búsqueda	Revistas	País	Área de conocimiento	Cuartil
WOS	Environmental Modelling software	Países Bajos	Environmental Engineering	Q1
WOS	International Journal of Human Computer Interaction	EEUU	Human-Computer Interaction	Q2
WOS	Universal access in the information society	Alemania	Human-Computer Interaction	Q2

Tabla 1 – Relación entre Revistas fuente de SCOPUS y WOS

Perfil de producción por autores

Se identifica que el autor Dessai, Suraje, es el único que aparece en ambos motores de búsqueda. Se corrobora que el enfoque de sus publicaciones, se centra en las dos áreas de conocimiento de interés de este artículo (Agricultura y usabilidad). Se procede a analizar el top 5 de autores de cada base de datos, con el fin de verificar el área de experticia las cuales se detectan como más frecuentes, ciencias ambientales y afines, ciencias de la computación e inteligencia artificial. La tabla 2 muestra una relación del top5 de los autores de cada una de las bases de datos. Este análisis se efectúa con el propósito de validar la búsqueda realizada.

Motor de búsqueda	Autor	Área de experticia de interés
WOS	SOYLU, AHMET	Ciencias de la computación - AI Aplicaciones interdisciplinarias
WOS	CAVALLO, FILLIPPO	Robótica -HCI- AI -Neurociencia
WOS	DARIO, PAOLO	Robótica -HCI-Automatización-Sistemas de control y automatización
WOS	DESSAI, SURAJE	Ciencias ambientales y ecología Estudios ambientales
WOS	GIESE, MARTIN	Ciencias computacionales AI -Sistemas de información Teoría y métodos
SCOPUS	Hyde, K.D.	Ciencias Agrícolas- Ciencias del medio ambiente Ciencias de la computación Ingeniería
SCOPUS	Crous, P.W.	Ciencias Agrícolas - Ciencias del medio ambiente - Ciencias de la computación - Ingeniería

Motor de búsqueda	Autor	Área de experticia de interés
SCOPUS	Wingfield, M.J.	Ciencias Agrícola Ciencias del medio ambiente Ciencias de la computación Ingeniería
SCOPUS	Bhat, D.J.	Ciencias del medio ambiente Ciencias Agrícolas
SCOPUS	Jeewon, R.	Ciencias del medio ambiente Ciencias Agrícolas

Tabla 2 – Relación entre Autores en áreas de conocimiento fuente de SCOPUS y WOS

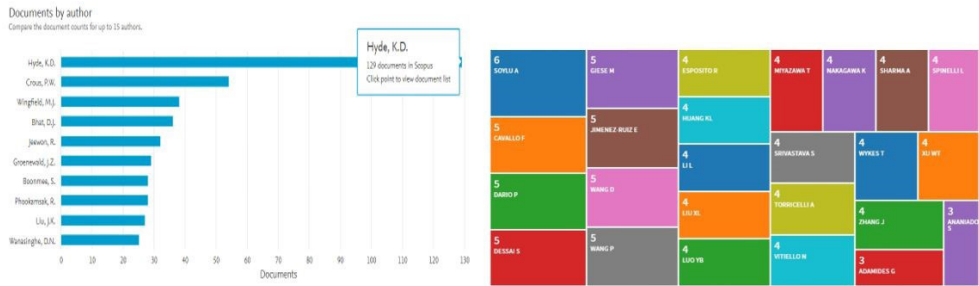


Figura 7 – Perfil de publicaciones por autor

Perfil de producción por áreas (Temáticas)

El perfil de producción para el sector agrario es de 14.6 % que representa en un aproximado de 3915 documentos publicados, la temática de mayor impacto está relacionado con el campo de las ciencias de la computación.



Figura 8 – Perfil de publicaciones por áreas

3.2. Estructura Semántica del dominio de investigación

Con el fin de obtener un panorama sistemático, que incluya los aportes científicos más significativos dentro de las dos bases de datos más prestigiosas a nivel mundial, WoS Clarivate y Scopus, se presenta en la figura 9, el mapa de red de palabras clave. Dentro de este mapa, la cercanía entre palabras, evidencia un nivel de similaridad (Laengle, Modak, Merigo, & Zurita, 2018) y correlación directa.

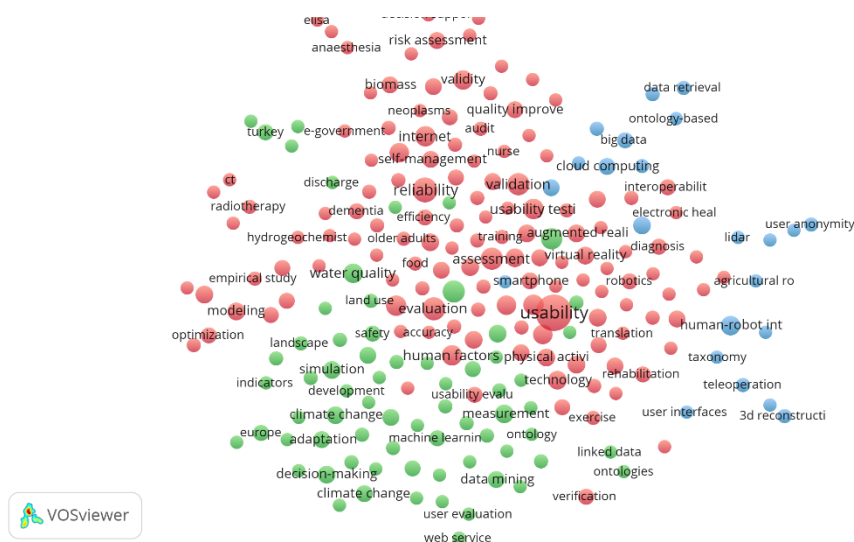


Figura 9 – Estructura semántica del dominio de investigación de usabilidad en el agro

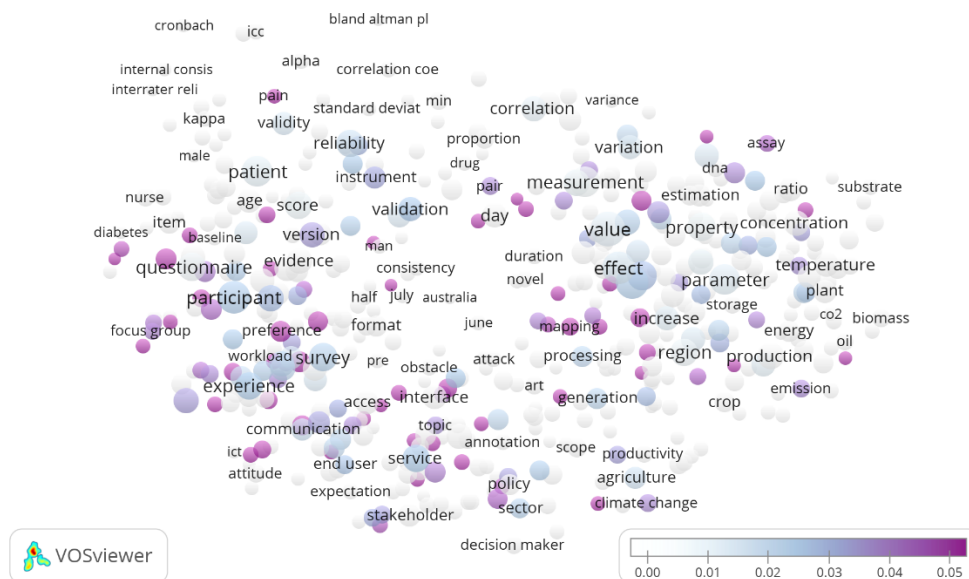
Esta estrategia, aporta de forma diferencial, una minimización de la subjetividad para la descripción del campo de investigación (Chen, 2003), puesto que revela la importancia de un tópico, con base a sus vínculos con los demás ítems de la visualización de red (Merigó, Cancino, Coronado, & Urbano, 2016). La red de la fig 9, se encuentra compuesta por 228 ítems o nodos, agrupados en tres clusters o frentes de investigación: i) en color rojo (135 ítems), ii) en color verde (70 ítems) y iii) en color azul (23 ítems).

Esta clusterización se genera a partir del índice de fortaleza de los vínculos, S_{ij} , de co-ocurrencia de las palabras clave dentro del conjunto de artículos de la muestra. La interpretación estadística de esta medida, es de un descriptor de similitud entre palabras, estimada con base en la relación entre los vínculos de cada palabra, dividido entre el total de vínculos posibles en la red (Ding, Rousseau, & Wolfram, 2014).

Como producto de esta clusterización, se identifican tres grandes frentes de investigación, relacionados con la usabilidad dentro del agro. El primer frente (ítems en rojo), se compone de las variables asociadas a la evaluación del desempeño y calidad por medio de experiencia del usuario y la usabilidad. El segundo frente, muestra la tendencia creciente de aplicación de estos análisis, enfocados en problemas como cambio climático, calidad del agua, los riesgos de adaptación de la agricultura al cambio climático y el uso de aprendizaje de máquina para la toma de decisiones. El tercer frente de investigación,

revela las tecnologías que se posicionan para abordar la problemática de eficiencia en el agro: i) robots agrícolas, ii) computación en la nube y big data, y iii) la tele operación de dispositivos.

Perfil de palabras clave por revista



Los mapas de superposición, se diferencian de las redes de palabras clave, en que asignan un atributo a unos nodos en particular. Para el caso de la figura, resalta las palabras clave dentro de la revista “Sensors”, la cual es seleccionada con base en sus niveles de citación, co-citación y emparejamiento bibliográfico dentro de las fuentes identificadas en la muestra.

El color púrpura muestra los temas que priman dentro de la revista “Sensors” y que se relacionan de forma directa con el dominio de investigación y en color blanco, muestra tópicos cuya frecuencia de aparición, es mayor en artículos de otras fuentes. En ese orden de ideas, se identifica los tópicos en los cuales se centra la revista, dentro de las áreas de agricultura y usabilidad. Para el caso de agricultura, los tópicos son “sostenibilidad” y cambio climático. De manera adicional, esta revista se centra en tópicos de usabilidad como: i) aceptabilidad, ii) evaluación de usabilidad, iii) prototipos, iv) aplicaciones móviles, v) adopción y vi) tecnologías de información y comunicación.

Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), financiador, y a la Universidad Autónoma de

Bucaramanga (UNAB), ejecutor, puesto su acompañamiento ha permitido desarrollar las actividades de investigación del proyecto AGRIoT, y a partir de lo cual fue posible identificar la necesidad de este artículo de investigación. El proyecto AGRIoT inició tras firma del contrato de financiamiento de recuperación contingente No 80740-200-2019, entre Colciencias y la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Referencias

- Chen, C. (2003). *Mapping Scientific Frontiers: The Quest for Knowledge Visualization*. London: SPRINGER London.
- Danthi, N., Wu, C. O., Shi, P., & Lauer, M. (2014). Percentile ranking and citation impact of a large cohort of national heart, lung, and blood institute-funded cardiovascular R01 grants. *Circulation Research*, 114(4), 600–606. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.114.302656>
- Ding, Y., Rousseau, R., & Wolfram, D. (2014). *Measuring scholarly impact. Methods and practice*. (Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram, Eds.), *Being a scholar in the digital era*. New York: SPRINGER. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8>
- Eck, N. J. Van, & Waltman, L. (2013). VOSviewer Manual. 1 January 2013, (January), 1–28. <https://doi.org/10.3402/jac.v8.30072>
- Helin, K., Kuula, T., Vizzi, C., Karjalainen, J., & Vovk, A. (2018). User Experience of Augmented Reality System for Astronaut's Manual Work Support. *FRONTIERS IN ROBOTICS AND AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00106>
- Jose M.Merigo, Fabio Blanco-Mesa, Anna M. Gil-Lafuente, R. R. Y. (2016). Thirty Years of the International Journal of Intelligent Systems: A Bibliometric Review. *International Journal of Intelligent Systems*, 00(1), 1–34. <https://doi.org/10.1002/int.21859>
- Laengle, S., Modak, N. M., Merigo, J. M., & Zurita, G. (2018). Twenty-Five Years of Group Decision and Negotiation: A Bibliometric Overview. *Group Decision and Negotiation*, 27(4), 505–542. <https://doi.org/10.1007/s10726-018-9582-x>
- Liu, Z., Yin, Y., Liu, W., & Dunford, M. (2015). Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 103(1), 135–158. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1517-y>
- Martínez-Toro, G. M., Rico-Bautista, D., Romero-Riaño, E., Galeano-Barrera, C. J., Guerrero, C. D., & Parra-Valencia, J. A. (2019). Analysis of the intellectual structure and evolution of research in human-computer interaction: A bibliometric analysis. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (E17), 363–378. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061181015&partnerID=40&md5=72fdb7321e66b3928d81e1217268265>
- Martinez, H., Jaime, A., & Camacho, J. (2012). Relative absorptive capacity: A research profiling. *Scientometrics*, 92(3), 657–674. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0652-6>

- Merigó, J. M., Cancino, C. A., Coronado, F., & Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108(2), 559–593. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1984-4>
- Pohjola, I., & Puusa, A. (2016). Group dynamics and the role of ICT in the life cycle analysis of community of practice-based product development: a case study. *Journal of Knowledge Management*, 20(3), 465–483. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2015-0227>
- Porter, A. L., Kongthon, A., & Lu, J.-C. (2002). (2002). Research profiling: improving the literature review. *Scientometrics*, 53(3), 351–370.
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Herramienta para la personalización y cálculo de métricas de código utilizando análisis estático: SCAT

Daniel Guamán^{1,2}, Jennifer Pérez², Roddy Correa¹

daguaman@utpl.edu.ec, jperez@estisi.upm.es, racorrea2@utpl.edu.ec

¹ Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, 1101608, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador.

² Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos, 28031, Ctra. de Valencia Km.7, Madrid, España.

Pages: 693–710

Resumen: Hoy en día, debido a la modernización, evolución y nuevos requisitos dados por los clientes, el software está sometido a un continuo mantenimiento, donde intervienen actividades de ingeniería inversa. Estas actividades se apoyan en herramientas (semi-)automáticas que analizan el código fuente para generar métricas cuantitativas y cualitativas que ayuden al ingeniero de software en la toma de decisiones. Una de las limitaciones en estas herramientas es que no se permite la personalización de las características para el cálculo de métricas, y como consecuencia, la configuración del modelo matemático es desconocido. El propósito de este trabajo es cubrir esta limitación a través del diseño y construcción de la herramienta de análisis estático de código SCAT (Source Code Analysis Tool) para a través de la personalización, configuración y extracción de las características del lenguaje Java obtener métricas simples y compuestas para usarlas en enfoques como análisis de Green software y deuda técnica.

Palabras-clave: Análisis estático; ingeniería inversa; métricas de código.

Tool for personalization and calculation of code metrics using static analysis: SCAT

Abstract: Nowadays, due to modernization, evolution and new requirements given by customers, software is subject to continuous maintenance, where reverse engineering activities are involved. These activities are supported by (semi-) automatic tools that analyze the source code to generate quantitative and qualitative metrics that help the software engineer in decision-making. One of the limitations of these tools is that the personalization of the characteristics for the calculation of metrics is not allowed, and as consequence, the configuration of the mathematical model is unknown. The purpose of this study is to cover this limitation through the design and construction of the SCAT (Source Code Analysis Tool) in order to personalize, configure and extract the Java language features in order to obtain simple and compound metrics to be used in Green Software analysis and technical debt approaches.

Keywords: Reverse engineering, software code metrics, measurements, static analysis.

1. Introducción

Hoy en día, la automatización y digitalización de nuevos requisitos dados por los clientes nos lleva a una actualización constante del software, sometiéndolo a cambios frecuentemente. En este contexto, el mantenimiento y la evolución (Sommerville, 2004) cobran un papel muy importante, ya que el software es un activo esencial dentro de una organización y se requiere su mejora constante. Al llevar a cabo las actividades de mantenimiento y evolución del software, sino se toman en cuenta estándares y buenas prácticas se pueden producir cambios involuntarios no deseados en la estructura y funcionamiento del software, generando deuda técnica (Guo, Atlee, & Kazman, 1999). Cuando existe deuda técnica, el proceso de ingeniería inversa es una alternativa para obtener las características del código y el diseño, y representarlos a través de vistas arquitectónicas, de forma que se dé un soporte al ingeniero en la toma de decisiones para conseguir su mejora y resolver en gran medida la deuda técnica. Las herramientas que dan soporte a los procesos de ingeniería inversa, permiten llevar a cabo la extracción de medidas de forma semiautomática, usando para esto técnicas como análisis estático y análisis dinámico, clustering, pattern matching u otros (Tomas, Escalona, & Mejias, 2013), (Maqbool & Babri, 2004), (Bauer & Trifu, 2004).

Estas medidas cuantitativas y cualitativas permiten calcular un conjunto de métricas cuyo modelo matemático y unidades de medida pueden variar. De hecho, cuando se lleva a cabo la extracción y análisis de software, los valores obtenidos para una misma métrica pueden variar entre herramientas. Esta variación no puede ser fácilmente analizada porque existe información que no proveen las herramientas como por ejemplo (i) el modo en que se configuran y obtienen las medidas y métricas de software dependiendo del lenguaje de programación y del tipo de aplicación objeto de estudio, (ii) la descripción de los modelos matemáticos utilizados para el cálculo de las métricas, y (iii) los formatos soportados para exportar los resultados de la extracción y garantizar la interoperabilidad con otras herramientas y enfoques. Sin embargo, el ingeniero requiere poder personalizar el modelo matemático aplicado según las necesidades del contexto y la aplicación, para así hacer una toma de decisiones adecuada.

Ante estas necesidades, en este trabajo se presenta la herramienta SCAT (Source Code Analysis Tool), la cual permite personalizar, configurar y automatizar el proceso para extraer y calcular métricas que pueden ser usadas en enfoques como estimación del consumo energético (Lago, Gu, Bozzelli, & others, 2014) y evaluación de deuda técnica que se generan en aplicaciones escritas en Java. Por lo tanto, SCAT se presenta como una herramienta que permite la personalización de análisis de código sin perder prestaciones. Para demostrar dicho funcionamiento y prestaciones, en este trabajo se presenta la conducción de un experimento donde se compara SCAT con *Sonarqube*, *Jdepend* y *Structural Analysis (STAN)* utilizando para ello 6 aplicaciones escritas en Java a partir de las cuales se realizan actividades de pre-procesamiento y procesamiento del código para generar como resultado métricas que son usadas como insumo de entrada en el análisis de deuda técnica.

Basado en los aspectos mencionados anteriormente, la estructura del artículo es la siguiente, la sección 2 proporciona el fundamento teórico usado para el presente trabajo; la sección 3 describe los componentes de SCAT; la sección 4 expone la discusión

y validación de la herramienta y finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

2. Fundamento teórico

2.1. Ingeniería Inversa

La ingeniería inversa según Mens et al. (Mens et al., 2005) se considera como un importante método para la evolución del software y como la fase inicial de la reingeniería. El objetivo de la ingeniería inversa es analizar y extraer datos e información (incluyendo documentación) de los sistemas de software existentes para comprenderlos mejor. Como menciona Arnold (Arnold, 1993) su representación a alto nivel, resultante de la extracción, debe ser expuesta de forma tal que se puedan analizar y comprender características estructurales y funcionales haciendo uso de análisis estático y análisis dinámico respectivamente, con el fin de mejorar implementaciones futuras, facilitar el mantenimiento, evolución y reingeniería. De acuerdo a Chikofsky y Cross (Chikofsky & Cross, 1990), la ingeniería inversa en sí misma no implica cambiar el sistema sino que es considerada como un proceso de examinación y extracción de elementos arquitectónicos y características implementadas en el software. Eilam (Eilam, 2011) menciona que la ingeniería inversa es un proceso donde un artefacto (software) diseñado, se descompone de forma tal que revele detalles más internos de implementación y diseño (extraer el conocimiento, ideas y filosofía de diseño que faltan cuando dicha información no está disponible). En algunos casos, la información es propiedad de alguien que no está dispuesto a compartirla.

2.2. Análisis de código estático y dinámico

Para Harman (Harman, 2010), código fuente se refiere a toda descripción ejecutable y de comportamiento de un sistema software el cual ha sido construido en base a una arquitectura y utilizando una combinación de tecnologías y lenguajes de programación. El análisis de código fuente es una técnica utilizada dentro del desarrollo de software para asegurar la calidad del producto software, ya que con el análisis se identifican errores que ocurren en la escritura de código. Según Gold (Gold, 2011) el análisis de código es fundamental durante la creación y mantenimiento de software. En ingeniería inversa y reconstrucción arquitectónica destacan las técnicas de análisis estático y análisis dinámico. El análisis estático proporciona información sobre la estructura del programa, lo que permite el estudio de los elementos estructurales del sistema tal como lo menciona Fairley (Fairley, 1978), mientras que el análisis dinámico analiza las propiedades del sistema en tiempo de ejecución. Este análisis detecta violaciones de propiedades y proporciona información útil a los ingenieros de software sobre el comportamiento, relaciones y patrones (Ball, 1999). El análisis estático no necesariamente requiere que el software se encuentre en funcionamiento o en ejecución para llevar a cabo el análisis que se aplica directamente sobre el código fuente tal cual, sin transformaciones previas ni cambios de ningún tipo como se menciona en (Debbarma, Kar, & Saha, 2012). La idea es que en base al código implementado, se obtengan características, métricas o información adicional que permitan realizar los cálculos correspondientes y analizar su mejora manteniendo la semántica original como lo expone (Oliveto, Hindle, &

Lawrie, 2017). Uno de los aspectos considerados negativos en este tipo de análisis es que pueden aparecer “*falsos positivos*” que ocurren cuando el análisis detecta errores que el programa no posee, o “*falsos negativos*” que corresponden a cuando el programa contiene errores que dentro del proceso de análisis no son detectados.

2.3. Métrica de software

En la ingeniería de software, las métricas son importantes porque ayudan a estimar y evaluar la calidad del software de tal manera que se pueda tomar decisiones tácticas acorde al contexto de estudio. De acuerdo a “*IEEE standard glossary of software engineering terminology*” (Radatz, Geraci, & Katki, 1990), métrica se define como una medida cuantitativa del grado en el que un sistema, componente o proceso posee un atributo determinado. (Lluna, 2011) define a una métrica como un indicador cuantitativo del grado en que un atributo dado posee. Al ser un indicador cuantitativo su valor numérico permite una comprobación de cumplimiento o no dentro de rangos de aceptación definidos. Para (Subramanian & Corbin, 2001) la métrica de software relaciona medidas individuales de software de una manera significativa, considerando medidas cuantificables que se pueden usar para medir las características de un sistema software. Para (Poulin, 1994) las métricas de software son técnicas que se utilizan para poder obtener costos aproximados, ahorro de costos y el valor de las prácticas de software que están asociados con el código fuente. (Serrano, Piattini, Calero, Genero, & Miranda, 2002) menciona que las métricas son elementos que se usan en las etapas del ciclo de vida del software puesto que permiten entender, monitorizar, controlar, predecir y probar el software en cada una de las etapas.

3. SCAT

SCAT (Source Code Analysis Tool), es una herramienta que permite la especificación léxica, sintáctica y semántica como paso previo para extraer, analizar y visualizar de forma automática métricas simples y compuestas que pueden ser usadas en enfoques de deuda técnica y consumo energético. Para obtener las métricas SCAT sigue el proceso de ingeniería inversa en el cual se introduce un paso adicional, previo a la extracción, que consiste en la configuración y personalización de las características, medidas, métricas y modelos matemáticos según las necesidades del ingeniero de software (ver Figura 1).

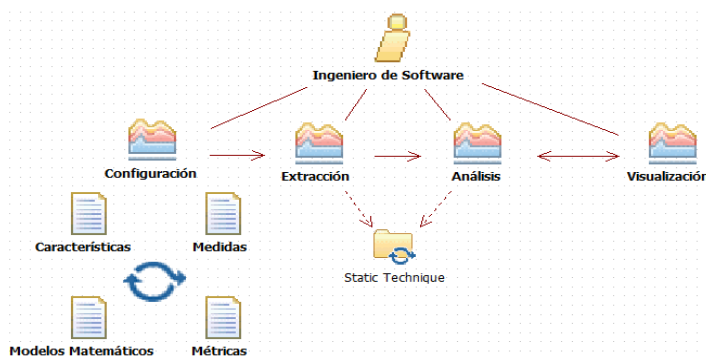


Figura 1 – Proceso de Personalización y Extracción de Métricas modelado en SPEM (“Software & Systems Process Engineering Metamodel (SPEM),” 2019)

Como parte de la configuración, se definen las medidas, métricas y modelos matemáticos donde intervienen variables y reglas léxicas del lenguaje. Tanto para la extracción y análisis en SCAT se hace uso del análisis estático como técnica la cual usa como entrada el código fuente organizado en paquetes y clases, para finalmente mostrar como parte de la visualización los resultados de la extracción y análisis a través de diversos formatos de presentación. Este proceso, también se ha trasladado a la implementación, haciendo que los módulos arquitectónicos coincidan con las fases del proceso. De forma que cualquier cambio en una de las fases no afecte al resto, facilitando así su mantenimiento. Configuración, extracción, análisis y visualización son los módulos que se han implementado en SCAT (ver Figura 2). Previamente al análisis de una aplicación, SCAT lleva a cabo la actividad de *Preparación* del código fuente objeto de estudio.

Esta actividad consiste en la organización de clases Java en paquetes y eliminar archivos que no contengan como extensión .java (ver Preparación, Figura 2). Una vez realizada esta preparación el código fuente está listo para ser procesado a través de las etapas de configuración, extracción, análisis y visualización

- **Configuración:** este módulo permite la gestión léxica, semántica y de sintaxis del lenguaje de programación Java, actuando como compilador. Una vez definida la gramática del lenguaje se configura a nivel de código fuente las métricas simples y métricas compuestas junto con los modelos matemáticos que los soportan para calcular sus valores numéricos (ver Configuración, Figura 2). Este módulo es el que permite la personalización lo que otorga un valor añadido para que el ingeniero o experto adapte SCAT acorde al contexto de investigación.
- **Extracción:** la extracción como proceso automático usa las configuraciones del paso anterior para calcular las métricas simples, la mayoría de este tipo de métricas corresponden a sumatorias de características o reglas léxicas que se clasifican y configuran para analizar y calcular métricas compuestas (ver Extracción, Figura 2).

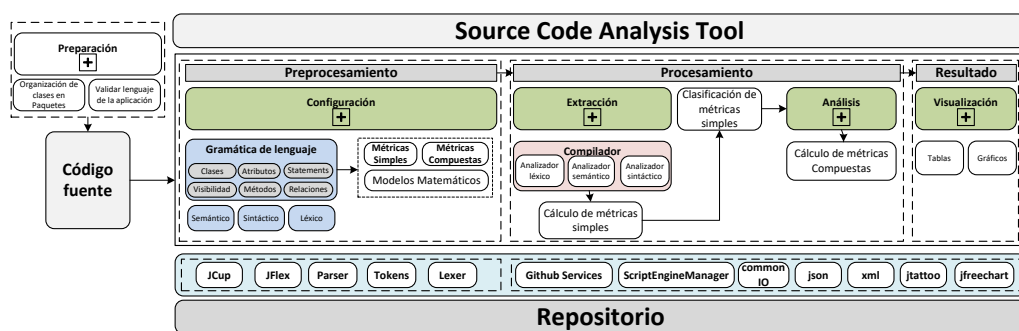


Figura 2 – SCAT Framework

- **Análisis:** como parte del análisis se hace uso de los valores numéricos y configuraciones de las métricas simples con lo cual se puede realizar cálculos más complejos que corresponden a métricas compuestas (ver Análisis, Figura 2). Los datos correspondientes a configuraciones iniciales de la gramática del

lenguaje, configuraciones de métricas simples y compuestas, resultado de extracción y análisis son almacenados en el repositorio local de SCAT.

- **Visualización:** como parte de la visualización los datos resultantes de la extracción y análisis de métricas simples y compuestas son recuperados desde el repositorio para presentarlos a nivel de tablas y/o gráficos con lo cual se puede interpretar y tomar decisiones (ver Visualización, Figura 2).

3.1. Modelo de métricas

Previo a la construcción de SCAT, se realizó una búsqueda sistemática en artículos científicos usando como cadena de búsqueda “*source code metrics*”, lo que permitió identificar, *248 reglas léxicas del lenguaje de programación Java* que han sido configuradas en la fase de Preprocesamiento, y que son usadas para extraer y calcular *15 métricas simples* y *40 métricas compuestas*, las cuales hacen uso de modelos matemáticos.

3.2. Métricas simples

Entre las métricas simples constan aquellas que pueden ser calculadas haciendo uso del compilador o librerías *open source*. Entre este tipo de métricas constan: paquetes, clases, métodos, atributos, líneas de código, comentarios, archivos, código muerto (variables declaradas y nunca utilizadas), palabras reservadas usadas para relacionar clases, palabras reservadas para declaración de métodos, atributos y variables. En SCAT se implementa métricas simples que no están implementadas en otras herramientas, entre ellas constan: métodos *heredados*, métodos *default*, métodos *private*, métodos *protected*, métodos *public*, métodos *sobrescritos*, atributos *default*, atributos *private*, atributos *protected*, atributos *public*.

3.3. Métricas compuestas

Con el fin de automatizar en SCAT el cálculo de métricas compuestas para que puedan ser usadas en contextos como evaluación de deuda técnica, se realizó una búsqueda sistemática de aquellas que se proponen para este contexto y que no se calculan de forma automática en otras herramientas de análisis estático (Nuñez-Varela, Perez-Gonzalez, Martinez-Perez, & Soubervielle-Montalvo, 2017), (Thamburaj & Aloysius, 2015b), (Thamburaj & Aloysius, 2015a). Entre ellas constan *Cognitive Weighted Attribute Hiding Factor (CWAHF)*, *Cognitive Weighted Method Hiding Factor Complexity (CWMHF)*, *Cognitive Weighted Polymorphism Factor (CWPF)*, *Catch Area Average Exception in a Class (CAAEC)*, *Method Hiding Factor (MHF)*, *Attribute Hiding Factor (AHF)*, *Method Inheritance Factor (MIF)*, *Attribute Inheritance Factor (AIF)*, *Coupling Factor*, *Polymorphism Factor*.

A continuación, se expone tres de este tipo de métricas compuestas, las cuales se parametrizan en SCAT y se calculan usando modelos matemáticos donde intervienen métricas simples y valores constantes representados a través de pesos cognitivos.

- **Cognitive Weighted Attribute Hiding Factor (CWAHF)**

Esta métrica evalúa la complejidad del software a partir de atributos de la clase. Para conocer el porcentaje de dicha complejidad se calcula los atributos de cada clase tomando en cuenta su visibilidad. Para ello es necesario aplicar el siguiente modelo matemático:

$$CWAHF = \frac{\sum_{i=1}^{TC} A_n(C_i)}{\sum_{i=1}^{TC} A_n(C_i) + \sum_{i=1}^{TC} A_v(C_i)}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^{TC} A_n(C_i) = \sum_{i=1}^{TC} A_p(C_i) * CW_{pa} + A_d(C_i) * CW_{da} + A_t(C_i) * CW_{ta}$$

$$\sum_{i=1}^{TC} A_v(C_i) = \sum_{i=1}^{TC} A_u(C_i) * CW_{ua}$$

$A_p(C_i)$ = número de atributos privados en la clase, $A_d(C_i)$ = número de atributos por defecto en la clase

$A_t(C_i)$ = número de atributos protegidos en la clase, $A_u(C_i)$ = número de atributos públicos en la clase

CW_{pa} = peso cognitivo de atributo privado, CW_{da} = peso cognitivo de atributo por defecto

CW_{ta} = peso cognitivo de atributo protegido en la clase, CW_{ua} = peso cognitivo de atributo públicos en la clase, TC = número total de clases en todo el sistema.

- **Cognitive Weighted Method Hiding Factor Complexity Metric (CWMHF)**

Esta métrica evalúa la complejidad estructural del software a nivel de métodos de la clase. Para ello se calcula los tipos de métodos y las clases que intervienen usando el siguiente modelo matemático:

$$CWMHF = \frac{\sum_{i=1}^{TC} Mn(C_i)}{\sum_{i=1}^{TC} Mn(C_i) + \sum_{i=1}^{TC} Mv(C_i)}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^{TC} Mn(C_i) = \sum_{i=1}^{TC} Mp(C_i) * CW_{pm} + Md(C_i) * CW_{dm} + Mt(C_i) * CW_{tm}$$

$$\sum_{i=1}^{TC} Mv(C_i) = \sum_{i=1}^{TC} Mu(C_i) * CW_{um}$$

$M_p(C_i)$ = número de métodos privados en una clase, $M_d(C_i)$ = número de métodos por defecto en una clase, $M_t(C_i)$ = número de métodos protegidos en una clase, $M_u(C_i)$ = número de métodos públicos en una clase, CW_{pm} = peso cognitivo para los métodos privados, CW_{dm} = peso cognitivo para los métodos por defecto, CW_{tm} = peso cognitivo para los métodos protegidos, CW_{um} = peso cognitivo para los métodos públicos, TC = número de clases totales en el software

- *Cognitive Weighted Polymorphism Factor (CWPF)*

Esta métrica cumple con una de las características de la programación orientada a objetos (POO) como es el polimorfismo, el cual ayuda a mejorar la extensibilidad y reutilización del código. Esta métrica se calcula en base a los métodos implementados en código. El modelo matemático que permite calcular el porcentaje de polimorfismo que existe en el software es el siguiente:

$$CWPF = \frac{\sum_{i=1}^{TC} CWM_o(C_i)}{\sum_{i=1}^{TC} [M_n(C_i) * DC(C_i)] * ACW}$$

Donde:

$$ACW = (CW_{pp} + CW_{sp} + CW_{dp})/3$$

DC (Ci) = número hijos de una clase (Herencia), TC = número total de clases, Mo(Ci) = número de métodos sobrescritos en la clase, Mn(Ci) = número de métodos nuevos definidos en la clase, NPP = número de polimorfismo puro, NSP = número de polimorfismo estático, NDP = número de dinámica polimorfismo, CWpp = peso cognitivo de puro polimorfismo, CWsp = peso cognitivo de la estática polimorfismo, CWdp = peso cognitivo de la dinámica polimorfismo

3.2. Personalizando la Extracción: Automatización y configuración de métricas

SCAT para su funcionamiento requiere la definición y configuración de la gramática (reglas léxicas y sintácticas) del lenguaje de programación, en este caso Java. Para ello usa librerías de código abierto como JFlex (“JFlex: Lexical Analyzer Generator,” 2019) y JCup (“CUP: Cup Parser Generator for Java,” 2019) que permiten personalizar su codificación, definir las reglas y expresiones regulares necesarios para realizar el proceso de compilación independientemente del lenguaje de programación. Esto permite a SCAT realizar la identificación y extracción de las métricas de código. Las reglas léxicas para el presente trabajo, se definen con el objetivo de reconocer por ejemplo palabras reservadas, modificadores de acceso, variables primitivas, literales booleanos, separadores, operadores y operandos, los cuales son parte de un programa escrito en Java.

3.2.1. Configuración de métricas en SCAT

Uno de los aportes de SCAT es el servicio que ofrece para configurar la gramática del lenguaje y métricas usadas en el proceso de extracción y análisis. De forma que el ingeniero de software puede personalizar la recogida de métricas dependiendo de las necesidades de cada contexto o aplicación. Esta configuración se realiza en base a los módulos de gestión de características y el módulo de configuración de métricas que se describen a continuación.

B1.1 Módulo de gestión de características

Como parte del Preprocesamiento, en este módulo se realiza la gestión de las características que se extraerán desde el código fuente. A través de la Interfaz Gráfica de Usuario (IGU) *Software Features* que proporciona SCAT, el ingeniero puede personalizar qué métricas compuestas y simples quiere utilizar en su modelo de análisis. A partir de esta configuración, SCAT asocia la gramática del lenguaje definida en SCAT con las métricas simples y métricas compuestas definidas. Para ello, todas estas características son almacenadas en el repositorio local y permitirán al analizador semántico y sintáctico reconocer lo que se debe extraer desde el código fuente de forma dinámica y flexible lo que da soporte a la personalización del análisis en todo momento y obtener resultados de una misma aplicación con diferentes configuraciones (Ver Figura 3).

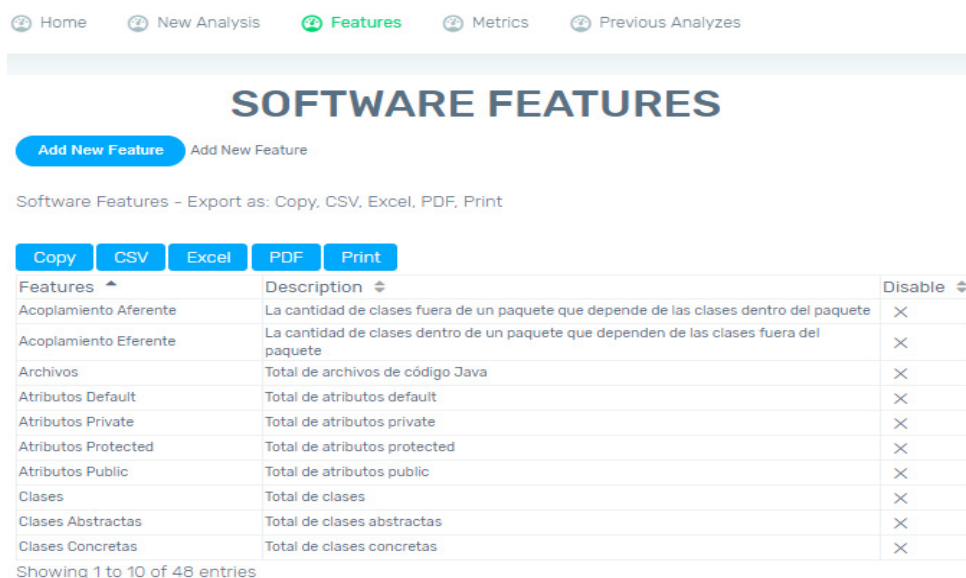


Figura 3 – IGU para Gestionar Características

3.2.2. Módulo de gestión de métricas

SCAT permite diseñar o construir una métrica simple de tal forma que cuando se realice el cálculo se obtenga el valor numérico correspondiente en base a las reglas léxicas del lenguaje Java, en este caso en la lista desplegable se muestra dichas reglas que pueden ser seleccionadas (Ver Figura 4).

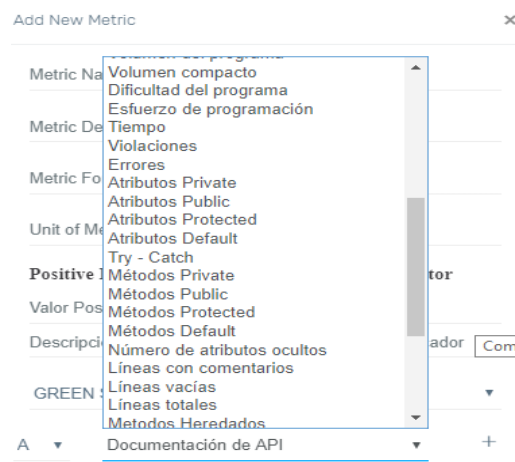


Figura 4 – IGU Gestión de métricas



Figura 5 – IGU para parametrizar el modelo matemático

En la Figura 5 se muestra la IGU que se usa para configurar o trasladar el modelo matemático de la métrica con las características del lenguaje, pesos y valores que son requeridos por una métrica simple o compuesta. Cabe indicar que, en el caso de la configuración de una métrica compuesta, es necesario haber configurado las reglas léxicas (que son parte del compilador) y métricas simples. Una vez configurada la métrica se puede visualizar, agrupar en base a un tipo, activarlas o inactivarlas para que formen parte del proceso de extracción y análisis, ofreciendo la personalización de ambos procesos (Ver Figura 6)

Source Code Analyzer

Home New Analysis Features **Metrics** Previous Analyzes

SOFTWARE METRICS

Add New Metric Add New Metric

Software Metric - Export as: Copy, CSV, Excel, PDF, Print

Copy CSV Excel PDF Print

Search:

Name	Description	Type	Show	Disable
Abstractness (A)	Mide cuánto puede soportar un cambio un paquete	GREEN SOFTWARE		
Attribute Hiding Factor (AHF)	Atributos encapsulados en una clase	TD		
Catch Area Average Exception in a Class (CAAEC)	Bloque de excepciones que pertenecen a una clase	GREEN SOFTWARE		
Cognitive Weighted Attribute Hiding Factor (CWAHF)	Complejidad de la clase debido a la encapsulación	GREEN SOFTWARE		
Cognitive Weighted Method Hiding Factor Complexity Metric (CWMHFC)	Se basa en la complejidad de los aspectos arquitectónicos y cognitivos del programa	GREEN SOFTWARE		
Cognitive Weighted Polymorphism Factor (CWPFF)	esta técnica ayuda a mejorar la extensibilidad y reutilización del código, para ello dicha métrica presenta un modelo matemático que servirá para calcular el porcentaje de polimorfismo que existe en el software	GREEN SOFTWARE		
Distance from Main Sequence (D)	La métrica final mide qué tan lejos está un paquete del equilibrio ideal, o la distancia de la secuencia principal	GREEN SOFTWARE		
Instability (I)	Mide el impacto potencial de los cambios en un paquete dado:	GREEN SOFTWARE		
Method Hiding Factor (MHF)	Métodos encapsulados en una clase	TD		
Method Inheritance Factor (MIF)	El MIF es el proporción de la suma de métodos heredados en todas las clase	GREEN SOFTWARE		

Showing 1 to 10 of 13 entries

Previous **1** 2 Next

Figura 6 – IGU Gestión de métricas en SCAT

3.3. Implementación: Módulo de extracción y análisis

SCAT usa como entrada el código fuente de aplicaciones escritas en Java, el mismo puede ser importado de forma local o desde repositorios Git. Adicionalmente, SCAT trabaja con un repositorio local propio con la finalidad de que las configuraciones iniciales, datos e información resultantes de la extracción y análisis sirvan como insumo de entrada para otras herramientas o enfoques.

Con el fin de garantizar interoperabilidad, SCAT hace uso de formatos como XML, XLS, JSON para la exportación de datos y librerías de código abierto tales como JCup, JFlex, Parser, Tokens y Lexer. JFlex para reconocer patrones léxicos generando una lista de tokens que sirven para el analizador sintáctico, y JCup la cual analiza una cadena de símbolos y la valida de acuerdo a reglas gramaticales establecidas por el lenguaje de programación.

El procesamiento se realiza mediante librerías de código abierto como Github Services (“GitHub Services,” 2019.), ScriptEngineManager (“ScriptEngineManager,” 2019), commons IO (“Commons IO,” 2019), jTattoo (“JTattoo,” 2019), y jFreeChart (“JFreeChart,” 2019). Como parte del procesamiento, en el módulo de extracción y análisis se implementan los algoritmos, estructuras y componentes que permiten reconocer los tokens gramaticales definidos en el Preprocesamiento y configurados en el módulo de gestión de métricas con lo que permite extraer, calcular y analizar métricas simples y métricas compuestas.

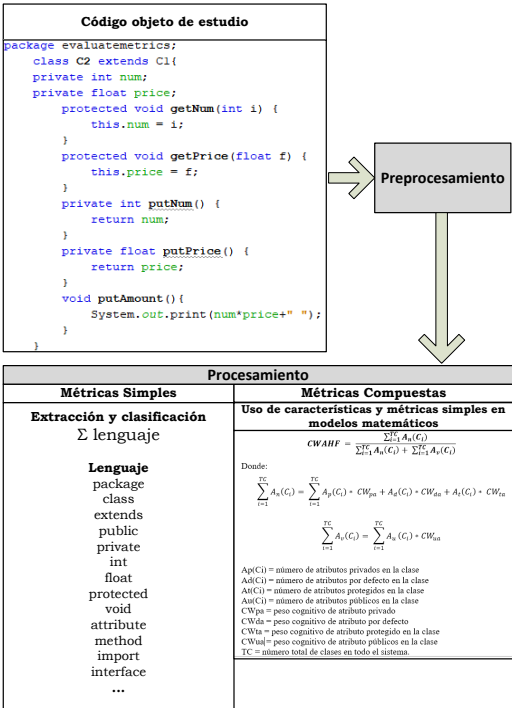


Figura 7 – Proceso para extraer y calcular métricas simples y compuestas

En la Figura 7, se visualiza el proceso que SCAT sigue desde la importación del código objeto de estudio, seguido por su descomposición a través del procesamiento para obtener el valor de las métricas simples o compuestas que haya predefinido el ingeniero.

Con cada herramienta se extrae y analiza un tipo o conjunto de métricas. Los resultados nos muestran que la herramienta más completa es *Sonarqube*, sin embargo, el resto de herramientas al igual que SCAT se consideran complementarias para usarlas en diferentes contextos de investigación. Basados en esta premisa, algunas cuestiones que como parte del trabajo surgen son las siguientes Q1: ¿Las herramientas permiten la configuración o parametrización de una métrica compuesta en base a varias métricas simples o características de código?, Q2: ¿Los datos generados por las herramientas se almacenan en un repositorio local para usarlos posteriormente?, Q3: ¿La carga de las aplicaciones objeto de estudio en las herramientas se puede realizar de forma local, cloud o ambas?, Q4: ¿Los valores resultantes del cálculo de métricas simples y/o compuestas configuradas en SCAT coincide con los de las herramientas?

Para dar respuesta a estas preguntas, se usa como insumos 6 diferentes aplicaciones escritas en Java. Las líneas de código (LOC) y características de las mismas se exponen en la Tabla 1.

Id	LOC	Características
App1	3500	CarreraExpress, aplicación de escritorio que realiza operaciones de registro de carreras de Taxi donde intervienen clases como Persona, Ruta, Ticket, Reportes, entre otras. Usa como repositorio MySQL.
App2	2000	PureMVC, aplicación móvil que se usa para realizar conversiones de moneda, esta aplicación no usa repositorio.
App3	1697	Aplicación RestfulService construida usando el patrón MVC web que realiza la consulta de datos académicos desde un repositorio MySQL.
App4	3511	SigPC, aplicación de escritorio que permite realizar el registro de producción de café donde intervienen clases como Asociaciones, Clima, Suelo, Parcelas, Socio, entre otras. Usa como repositorio MySQL.
App5	2739	VentaBoletos, aplicación de escritorio que realiza la venta de boletos de una empresa de transporte, usa como repositorio MySQL.
App6	2737	App Web que utiliza MVC y DAO e implementa buenas prácticas OWASP para minimizar riesgos de seguridad, usa como repositorio MySQL.

Tabla 1 – Características de aplicaciones objeto de estudio

En la Figura 8 se muestran los resultados de las métricas simples y compuestas obtenidas de la ejecución de las aplicaciones en las herramientas propuestas. Se han configurado 30 métricas en SCAT para aplicar el proceso de ingeniería inversa y contrastar los resultados a través de las respuestas a las preguntas de investigación formuladas:

Q1: ¿Las herramientas permiten la configuración o parametrización de una métrica compuesta en base a varias métricas simples o características de código?

En este caso solamente SCAT permite realizar la configuración de las variables y características del lenguaje para calcular métricas de código, ya que en las demás herramientas se carga el código y se ejecuta para obtener sus valores resultantes en la unidad de medida predefinida la cual puede ser contador, porcentaje o promedio.

Q2: ¿Los datos generados por las herramientas se almacenan en un repositorio local para usarlos posteriormente?

Solamente en el caso de Sonarqube los datos pueden ser almacenados en un repositorio local o en Cloud al igual que SCAT, a partir del cual se pueden exportar en diversos formatos. En el caso de Jdepend los resultados pueden exportarse solamente en formato .TXT y .XLS, y en el caso de STAN el análisis y resultados solamente pueden visualizarse, pero no pueden ser exportados, en este caso el proceso de toma de datos es manual.

Q3: ¿La carga de las aplicaciones objeto de estudio en las herramientas se puede realizar de forma local, cloud o ambas?

Sonarqube y SCAT proponen que la carga de las aplicaciones objeto de estudio sea de forma local y cloud. En el caso de Jdepend y STAN las aplicaciones objeto de estudio solamente pueden cargarse de forma local.

Q4: ¿Los valores resultantes del cálculo de métricas simples y/o compuestas configuradas en SCAT coincide con los de las herramientas?

En todas las herramientas con las cuales se compara SCAT, los valores de métricas simples o que corresponden a contar paquetes, clases, métodos, archivos el valor es similar. Los valores de la métrica *Statement* pueden variar al igual que las métricas compuestas ya que pueden existir diversas formas de cálculo en base a las métricas simples.

4. Discusión y validación de SCAT

4.1. Discusión

SCAT frente a otras herramientas de análisis estático permite la implementación de medidas y métricas simples y compuestas cuyo cálculo puede ser idéntico o diferente dependiendo de la configuración detallada de la fórmula ya que permite su personalización. Por ejemplo, con respecto a la métrica número de archivos java, se obtienen distintos valores entre SCAT y Sonarqube debido a que SCAT cuenta solamente archivos con extensión Java, mientras que *Sonarqube* los cuenta como archivos a los que tienen extensión Java, XML, XLS u otro dentro del proyecto objeto de estudio. Otro valor añadido es que, a diferencia de las herramientas de análisis estático, SCAT permite el cálculo de métricas de *Complejidad de Halstead* tales como *longitud del programa*, *longitud del vocabulario*, *volumen del programa*, *volumen compacto*, *dificultad del programa*. Estas no se exponen en la Figura 8 ya que no las propone ninguna de ellas. Con respecto a las métricas compuestas, estas dependen de la forma de cálculo y variables que intervienen las cuales pueden ser configuradas para su personalización en SCAT. Por ejemplo, la métrica *Cognitive Weighted Polymorphism Factor* (CWPF) algunos autores proponen que al momento de dividir por el denominador se debe multiplicar por el promedio de los valores cognitivos de la métrica, en otros casos el valor a multiplicar es la suma de estos valores. Respecto de la complejidad la cual depende de la estructura de clases y uso de reglas de codificación, esta es utilizada para el cálculo automático de otras métricas compuestas tales como *Cognitive Weighted Method Hiding Factor*, *Cognitive Weighted Attribute Hiding Factor*, *Metric Inheritance Factor* cuyo cálculo no está automatizado en otras herramientas. Lo interesante de SCAT es que el configurar métricas como *WMC*, *DIT*, *NOC*, *LCOM* permite entender y ajustar el modelo matemático que se está aplicando o utilizando para su cálculo.

4.2. Validación

Como se visualiza en la Figura 8, existe un grupo de métricas simples y compuestas que son soportadas por SCAT y que no las propone *Sonarqube*, *Jdepend* y *Structural Analysis*. En este caso SCAT permite la extracción de métricas a un nivel de detalle más profundo para extraer atributos o métodos y sus propiedades como la visibilidad pública, privada, protegida. Es así que, por ejemplo, los resultados que se muestran corresponden a variaciones del modelo matemático en los cuales se hace uso de métricas simples y compuestas para cada aplicación objeto de estudio. Respecto de las métricas agrupadas como *Count/Size*, se puede visualizar que existe diferencias entre los valores obtenidos

por Sonarqube versus SCAT, esto se debe a que las aplicaciones objeto de estudio al ser medianas y grandes hacen uso de diversos estilos de programación, definiciones de cabecera y estándares de programación. Para lograr valores iguales o aproximados con otras herramientas, en SCAT se requiere aumentar la definición base de reglas léxicas (248 inicialmente) acorde a la gramática del lenguaje Java, ya que SCAT al encontrar un error en una Clase por no definición de gramática, el analizador no realiza el cálculo sobre el archivo que contiene a la Clase.

Feature/Metric	Unidad de medida	App1	App1 SCAT	App2	App2 SCAT	App3	App3 SCAT	App4	App4 SCAT	App5	App5 SCAT	App6	App6 SCAT	
Count/Size														Sonarqube
Lines of Code	Número	3500	3250	2000	1850	1697	1600	3511	3400	2739	2600	2737	2500	
Statement	Número	1451	-	610	-	385	-	1750	-	1201	-	553	-	
Functions/Methods	Número	276	132	165	152	254	250	474	350	153	135	429	390	
Classes	Número	45	30	50	46	18	16	145	38	19	18	32	30	
Duplications														
Density	Porcentaje	6.30	-	2.40	-	1.60	-	12.50	-	18.30	-	0.00	-	
Duplicated lines	Número	317	-	104	-	36	-	577	-	631	-	0	-	
Duplicated Blocks	Número	15	-	2	-	2	-	33	-	54	-	0	-	
Duplicated Files	Número	11	8	2	2	2	2	11	9	9	9	0	0	
Complexity														Jdepend - Eclipse Plugin
Cyclomatic Complexity	Número	414	91	229	130	320	300	746	500	260	200	553	450	
Cognitive Complexity	Número	150	-	88	-	67	-	684	-	143	-	134	-	
Robert C. Martin														
Efferent Coupling (Ce)	Promedio	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.55	1.43	1.33	1.40	0.67	0.70	
Afferent Coupling (Ca)	Promedio	0.00	0.43	12.00	8.00	0.50	1.00	1.55	1.25	1.33	1.40	0.67	0.80	
Instability (I)	Promedio	1.00	0.25	0.70	0.80	6.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.36	0.67	0.46	
Abstractness (A)	Promedio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.10	
Distance from Main Sequence (D)	Promedio	0.00	0.00	0.29	0.00	0.75	0.00	19.88	10.00	1.00	0.00	0.56	0.20	
ConcreteClasses Count	Número	36	24	50	44	18	15	114	35	17	14	27	24.00	
Abstract Class Count	Número	9	6	0	2	0	1	31	3	2	4	5	6.00	
CK-Metrics														Structural Analysis - Eclipse Plugin
Weighted Method per Class (WMC)	Promedio	6.36	-	3.88	-	14.22	-	18.98	-	6.11	-	10.98	-	
Depth of Inheritance Tree (DIT)	Promedio	0.98	-	1.00	-	1.00	-	1.01	-	1.00	-	0.90	-	
Num Of Children (NOC)	Promedio	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.01	-	0.00	-	0.00	-	
Coupling Between Objects	Promedio	0.00	-	0.00	-	0.00	-	2.27	-	2.84	-	0.00	-	
Response for a class (RFC)	Promedio	6.38	-	3.88	-	14.28	-	11.70	-	7.30	-	11.29	-	
Lack of Cohesion in Methods (LCOM)	Promedio	35.71	30.00	11.02	9.72	137.22	128.50	56.61	45.28	7.63	6.34	90.24	76.23	
Métricas configuradas en SCAT														
Métodos heredados	Número		28		83		0		0		15		139	SCAT
Métodos default	Número		2		4		54		0		0		45	
Métodos private	Número		0		9		81		0		26		0	
Métodos protected	Número		0		15		35		0		0		23	
Métodos public	Número		100		30		68		311		27		78	
Métodos sobrescritos	Número		4		8		0		0		39		0	
Atributos default	Número		3		25		1413		25		0		64	
Atributos Private	Número		24		2		2793		94		26		10	
Atributos Protected	Número		0		0		0		0		0		0	
Atributos Public	Número		25		7		1116		39		34		28	
Catch Area Average Exception in a Class (CAAEC)	Porcentaje		1.52		6.89		0.53		0		0		0	
Cognitive Weighted Attribute Hiding Factor (CWAHF)	Porcentaje		1		92		90		87		100		100	
Cognitive Weighted Method Hiding Factor Complexity Metric (CWMHFC)	Porcentaje		7.15		82.95		12.47		0		0		0	
Cognitive Weighted Polymorphism Factor (CWPFF)	Porcentaje		13		6		0		0		13		0	
Method Hiding Factor (MHF)	Porcentaje		1.52		48.27		2.67		0		0		0	
Attibute Hiding Factor (AHF)	Porcentaje		1		0		1		0		1		1	

Figura 8 – Métricas extraídas con Sonarqube, Jdepend, STAN y SCAT

El valor de la métrica *Functions/Methods* difiere entre las herramientas, ya que en SCAT en la estructura de las reglas esta no reconoce la declaración de tipos de variables continuas (en una misma línea) y esto conlleva a que el fichero donde se encuentre el error sintáctico no genere resultados similares al resto de herramientas. Además, SCAT a diferencia de Sonarqube no cuenta a los *Constructores* como *Métodos*, ya que estos no retornan valores y no son de tipo *void*. A partir de ello el cálculo de métricas compuestas en SCAT difiere del resto de herramientas. Las métricas *Density*, *Duplicated lines* y *Duplicated Blocks* no se configuran en SCAT ya que no se usan en el cálculo de *CAAEC*, *CWAHF*, *CWMHFC*, *CWPF*, *MHF*, *AHF*. Respecto de la métrica *Cyclomatic Complexity*, el resultado con Sonarqube versus SCAT adopta diferentes valores ya que el modelo matemático y la asignación de constantes varía. En el caso de SCAT se parametriza como la sumatoria de cada una de las condiciones en cada clase que se presentan dentro de una sentencia repetitiva. En SCAT todas las métricas calculadas con *Jdepend* también pueden ser configuradas para en base a los modelos matemáticos obtener los valores numérico similares, ya que dependerá de las reglas de sintaxis y métricas simples que se utilicen para su cálculo. En el caso de *ConcreteClasses* y *Abstract Class* los resultados varían por el uso de palabras reservadas como *extends* o *implements*. Las métricas compuestas que pueden ser extraídas con *Structural Analysis* también pueden obtenerse con *Sonarqube* y *SCAT*.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo presenta SCAT como herramienta que da soporte y flexibilidad al proceso de ingeniería inversa configurando y extrayendo métricas simples y compuestas. SCAT da soporte a la personalización y cobertura de nuevas métricas mediante la definición y creación de componentes que actúan como un compilador. La codificación e implementación de reglas léxicas, sintácticas y semánticas son la base para la identificación, extracción y análisis de aplicaciones escritas en Java. SCAT se beneficia del uso de *JFlex* para la automatización del modelo matemático de las métricas de software, y *JCup* para la personalización del reconocimiento de la estructura de un programa Java. SCAT se compara con 3 herramientas de análisis estático usando seis aplicaciones diferentes y utilizando un conjunto de métricas que la soportan. Este trabajo abre una gran cantidad de trabajos futuros, como incluir nueva reglas léxicas y gramática del lenguaje Java y añadir archivos que contengan lenguajes como PHP o C#, modificar las reglas del lenguaje de programación, realizar experimentos con aplicaciones más extensas y variadas, y extender la herramienta para que su funcionamiento sea más completo.

Referencias

- Arnold, R. S. (1993). *Software reengineering*. IEEE Computer Society Press.
- Ball, T. (1999). The concept of dynamic analysis. In *Software Engineering—ESEC/FSE'99* (pp. 216–234).
- Bauer, M., & Trifu, M. (2004). Architecture-aware adaptive clustering of OO systems. *Proceedings of the European Conference on Software Maintenance and Reengineering, CSMR*, 8, 3–14.

- Chikofsky, E. J., & Cross, J. H. (1990). Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13–17.
- Commons IO. (2019). Retrieved from <https://commons.apache.org/proper/commons-io/>
- CUP: Cup Parser Generator for Java. (2019). Retrieved from <http://www.cs.princeton.edu/~appel/modern/java/CUP/>
- Debbarma, M. K., Kar, N., & Saha, A. (2012). Static and dynamic software metrics complexity analysis in regression testing. *International Conference on Computer Communication and Informatics*, 1–6.
- Eilam, E. (2011). *Reversing: secrets of reverse engineering*. John Wiley & Sons.
- Fairley, R. E. (1978). Tutorial: Static analysis and dynamic testing of computer software. *Computer*, 11(4), 14–23.
- GitHub Services. (2019). Retrieved from <https://github.com/github/github-services>
- Gold, N. (2011). Knitting music and programming: Reflections on the frontiers of source code analysis. *Proceedings - 11th IEEE International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation, SCAM 2011*, 10–14.
- Guo, G. Y., Atlee, J. M., & Kazman, R. (1999). A software architecture reconstruction method. In *Software Architecture* (pp. 15–33). Springer.
- Harman, M. (2010). Why Source Code Analysis and Manipulation will always be important. *Proceedings - 10th IEEE International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation, SCAM 2010*, 7–19.
- Ingenier, C. S. D. E., & Telecomunicaci, S. D. E. (2017). Un modelo sostenible para la gestión de decisiones de diseño en arquitectura software.
- JFlex: Lexical Analyzer Generator. (2019). Retrieved from <http://jflex.de/>
- JFreeChart. (2019). Retrieved from <http://www.jfree.org/jfreechart/>
- JTattoo. (2019). Retrieved from <http://www.jtattoo.net/>
- Lago, P., Gu, Q., Bozzelli, P., & others. (2014). A systematic literature review of green software metrics.
- Lluna, E. (2011). Análisis estático de código en el ciclo de desarrollo de software de seguridad crítica. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería Del Software*, 7(3), 26–38.
- Maqbool, O., & Babri, H. A. (2004). The weighted combined algorithm: a linkage algorithm for software clustering. *Eighth European Conference on Software Maintenance and Reengineering*, 15–24.
- Mens, T., Wermelinger, M., Ducasse, S., Demeyer, S., Hirschfeld, R., & Jazayeri, M. (2005). Challenges in software evolution. In *Principles of Software Evolution, Eighth International Workshop on* (pp. 13–22).

- Nuñez-Varela, A. S., Perez-Gonzalez, H. G., Martinez-Perez, F. E., & Soubervielle-Montalvo, C. (2017). Source code metrics: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 128, 164–197.
- Oliveto, R., Hindle, A., & Lawrie, D. J. (2017). *Source code analysis and manipulation*. *Journal of Systems and Software* (Vol. 129).
- Poulin, J. S. (1994). Measuring Software Reusability, 126–138.
- Radatz, J., Geraci, A., & Katki, F. (1990). IEEE standard glossary of software engineering terminology. *IEEE Std*, 610121990(121990).
- ScriptEngineManager. (2019). Retrieved from <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/javax/script/ScriptEngineManager.html>
- Serrano, M., Piattini, M., Calero, C., Genero, M., & Miranda, D. (2002). Un método para la definición de métricas de software. In *1er Workshop en Métodos de Investigación y Fundamentos filosóficos en Ingeniería del Software y Sistemas de Información (MIFISIS'2002)* (pp. 65–74).
- Software & Systems Process Engineering Metamodel (SPEM). (2019). Retrieved from <http://www.omg.org/spec/SPEM/>
- Sommerville, I. (2004). *Software Engineering*. International computer science series. Ed: Addison Wesley.
- Subramanian, G., & Corbin, W. (2001). An empirical study of certain object-oriented software metrics. *Journal of Systems and Software*, 59(1), 57–63.
- Thamburaj, F., & Aloysius, A. (2015a). Cognitive Weighted Method Hiding Factor Complexity Metric, 4(10), 272–279.
- Thamburaj, F., & Aloysius, A. (2015b). Cognitive Weighted Polymorphism Factor: A Comprehension Augmented Complexity Metric. In *WASET Conf. in Kyoto, Int. Jr. of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, PISSN (Vol. 9, pp. 2199–2204).
- Tomas, P., Escalona, M. J., & Mejias, M. (2013). Open source tools for measuring the Internal Quality of Java software products. A survey. *Computer Standards and Interfaces*, 36(1), 244–255.

Universidad inteligente: Mapa estratégico desde la adopción de tecnología

Dewar Rico-Bautista¹, Yurley Medina-Cárdenas¹, Luis Anderson Coronel-Rojas¹, Fabian Cuesta-Quintero¹, Edwin Barrientos-Avendaño¹, Ricardo Andrés García León¹, Gina Paola Maestre-Góngora²

dwricob@ufpso.edu.co, ycmedinac@ufpso.edu.co, lacoronelr@ufpso.edu.co,
fcuestaq@ufpso.edu.co, ebarrientosa@ufpso.edu.co, ragarcial@ufpso.edu.co,
gina.maestre@campusucc.edu.co

¹ Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Sede Algodonal Vía Acolsure, 546551, Ocaña, Colombia.

² Universidad Cooperativa de Colombia, Calle 50 No. 40 – 74 Bloque A piso 6 , 050016, Medellín, Colombia.

Pages: 711–724

Resumen: Se contextualiza desde el Internet de las Cosas y su vital importancia para el concepto emergente de universidad inteligente. El propósito de este documento es presentar una propuesta de mapa estratégico a partir del análisis de la bibliografía alrededor del concepto de universidad inteligente. A medida que madure la tecnología; campus y universidades inteligentes deberán ampliarse a los ámbitos tales como la gestión. Se hace énfasis en el rol de la tecnología, como un elemento fundamental en la concepción e implementación de proyectos, iniciativas y mapas estratégicos que inciden en el desarrollo exitoso de las universidades.

Palabras-clave: Adopción de Tecnologías; Campus inteligente; Mejoramiento continuo; Universidad inteligente.

Smart University: Strategic map since the adoption of technology

Abstract: It is contextualized from the Internet of Things and its vital importance for the emerging concept of intelligent university. The purpose of this document is to present a proposal for a strategic map based on the analysis of the bibliography on the concept of an intelligent university. As technology matures, smart campuses and universities should be extended to areas such as management. Emphasis is placed on the role of technology as a fundamental element in the conception and implementation of projects, initiatives and strategic maps that influence the successful development of universities.

Keywords: Adoption of Technologies; Smart campus; Continuous Improvement; Smart University.

1. Introducción

Emergen entonces dos conceptos fuertemente anclados a la potencia de las tecnologías de la información (TI), haciendo énfasis en *Internet of Things* (Internet de las cosas), (Flauzac, Gonzalez, & Nolot, 2015; Gershenfeld, Krikorian, & Cohen, 2004; Maciá, 2017; Whitmore, Agarwal, & Da Xu, 2015; Williams, 2016). El primero es el de ciudad inteligente o *smart city*, el cual abarca aspectos relacionados con el desarrollo urbano sostenible. Por esta razón, delimitar qué es y qué no es una ‘ciudad inteligente’ dependerá de quién lo evalúe (Maestre-Góngora, 2016), (Perboli, De Marco, Perfetti, & Marone, 2014), (Muñoz López, Proyecto, Antón Martínez, & Fernández Ciez, 2015). El segundo, de forma equivalente pero más delimitado, el concepto de universidad inteligente o *smart university*; el cual toma sus características para implementar soluciones en los procesos de estas organizaciones (Adamkó, Kádek, & Kósa, 2014; Atif, Mathew, & Lakas, 2015; Khamayseh, Mardini, Aljawarneh, & Yassein, 2015; Malatji, 2017; Rohs & Bohn, 2003).

De acuerdo a Ontiveros, Vizcaíno, & López (2016) en su libro *Las ciudades del futuro: inteligentes, digitales y sostenibles*, “Las smart cities se caracterizan por haber integrado las últimas innovaciones digitales (Internet de las Cosas, Big Data, minería de datos, inteligencia artificial), permitiendo un mejor conocimiento, análisis y gestión de los flujos urbanos”. Leyendo a Johnson et al. citado por (Banica, Burtescu, & Enescu, 2017), identifica siete categorías de tecnologías que impulsan la innovación en la educación: Tecnologías de consumo, estrategias digitales, tecnologías habilitadoras, tecnologías de Internet, tecnologías de aprendizaje, medios sociales y tecnologías de visualización. De igual forma:

- el acceso de los estudiantes a los materiales de aprendizaje desde cualquier ordenador u otro dispositivo conectado a Internet (Cao et al., 2016), citado por (Banica et al., 2017);
- el uso de dispositivos inteligentes (equipados con aplicaciones de hardware y software) en las denominadas aulas inteligentes (Banica et al., 2017);
- la recopilación y análisis de un importante volumen de datos procedentes de sensores y dispositivos portátiles con mayor facilidad y la supervisión de las capacidades y logros de los estudiantes (Banica et al., 2017);
- el desarrollo de software social educativo dentro de un contexto de IoT, refiriéndose a los Servicios de Redes Sociales (SNS), Wikis, Weblogs como apoyo a actividades de colaboración.

El Consejo Privado de Competitividad (2017), lanza su undécimo Informe Nacional de Competitividad, donde da a conocer ciertas cifras de Colombia en ciertas áreas como, por ejemplo:

- **Educación.** La calidad de la educación superior en Colombia tiene una brecha importante que cerrar. Apenas el 14,9 % de los programas de pregrado de educación superior y el 14,5 % de las instituciones de educación superior cuentan con acreditación de alta calidad. En pertinencia, cerca del 50 % de los empresarios colombianos reporta dificultades para llenar sus vacantes debido, entre otras cosas, a la ausencia de competencias genéricas y específicas de los aspirantes y a la falta de experiencia.
- **Uso en empresas,** de acuerdo con la Encuesta de Opinión Empresarial del WEF, el uso de TIC en transacciones entre empresas en Colombia presenta un

rezago considerable frente a países de referencia y se sitúa lejos de los países líderes de América Latina. Además, la tendencia del indicador es preocupante porque, ha caído de manera consecutiva en los últimos cuatro años. Lo anterior pone en evidencia la necesidad de fomentar la adopción de infraestructura TIC en las empresas, y su uso para el desarrollo de los negocios.

- **Impacto de las TIC**, el subsector de telecomunicaciones mantuvo un desarrollo acelerado durante la década anterior y alcanzó tasas de crecimiento superiores a las del PIB total, como consecuencia de las políticas públicas de expansión de la infraestructura. Sin embargo, las tasas de crecimiento de este subsector han descendido notablemente, puesto que el país ya superó el tramo de mayor potencial de crecimiento en tenencia de dispositivos. Además de su relación con el crecimiento económico, la expansión de las TIC ha tenido un impacto importante sobre la creación de empleo en el país. Se calcula que entre 2005 y 2013 el despliegue de las TIC en Colombia generó, en promedio, 17.000 empleos cada año (21.300 en el año 2013). Dicho cálculo incluye los empleos directos e indirectos generados tanto por la industria de telecomunicaciones, como por los otros sectores digitales. Estas cifras muestran la importancia del sector para el desarrollo económico y, por lo tanto, ponen en evidencia la necesidad de adoptar políticas que eviten que se frene esta contribución.

Este artículo se encuentra dividido principalmente en (i) introducción, (ii) Tecnologías inteligentes, (iii) Resultados y discusión y por último conclusiones.

2. Tecnologías Smart

Entendiendo en el contexto actual “*Smart Technologies*” a la combinación de Tecnologías de la Información y la Comunicación que incluyen hardware, software y sistemas de comunicaciones capaces de adquirir datos, analizar, predecir tendencias de comportamiento y adaptarse automáticamente (Maestre-Gongora & Colmenares-Quintero, 2018). Estas tecnologías desempeñan una función sustantiva en la generación, el intercambio, la difusión, la gestión y el acceso al conocimiento y son cada vez más importantes y pertinentes en todos los ámbitos de la vida social, pero sobre todo en la educación (Vega-Hernández, Patino-Alonso, & Galindo-Villardón, 2018).

La necesidad de aprender a gestionar tecnologías para fortalecer su contribución a la sociedad es una consecuencia de la irrupción de la tecnología y la globalización lo que ha generado un cambio en el papel de las universidades. (*AI (artificial intelligence); cloud computing; IoT (Internet of Things) y Big data*), siguen emergiendo y logrando grandes avances (Shaoyong, Yirong, & Zhefu, 2016). En los resultados generados a nivel internacional (Rjab & Mellouli, 2018), una revisión de la literatura de 1990 a 2017, el 97% de la bibliografía se centra en la *IoT* y la *AI* (más concretamente, el 55% de la bibliografía se centra en *AI* y el 42% de los estudios se centran en *IoT*). Sin embargo, el 3% de los estudios se centraron en *cloud computing*. Esta observación, nos permite identificar que las principales tecnologías utilizadas en las ciudades inteligentes son esencialmente *IoT* y *AI*, donde la integración de la inteligencia artificial en la red de *IoT* permite crear una infraestructura sostenible e inteligente. La *AI* se caracteriza por ser una imitación de la inteligencia y de las capacidades humanas, para construir máquinas inteligentes, al igual que es una simulación entre la inteligencia humana y las habilidades de la máquina, con el

fin de resolver problemas complejos (Rjab & Mellouli, 2018). *Big data* puede describirse como la plataforma que toma una variedad de datos (estructurados, semiestructurados y no estructurados) recogidos de diferentes fuentes que, si se analizan en el momento adecuado, pueden proporcionar una toma de decisiones óptima para las organizaciones, la salud, la educación y los países (Chaoui & Makdoun, 2018).

Cloud computing es una tecnología predominantemente emergente. Así, organizaciones han comenzado a migrar sus servicios hacia la entorno de *cloud computing* con la esperanza de reducir costes (Al-ruithe, 2017). Una predicción muestra que el 60-70% de la inversión en TI será en el servicio de *cloud computing* para 2020 (Chaveesuk, 2018). Esto demuestra que muchas organizaciones, tanto empresariales como académicas, dependerán de la nube pública (Karkošková, 2018). Desde esta perspectiva, podría implicar que la *cloud computing* será una herramienta impulsora que mejorará todos los sectores industriales, incluyendo una parte educativa. Se puede considerar *cloud computing* como una solución para el análisis de *Big data*, ya que puede proporcionar todo lo que la variedad de datos necesita, como un sistema de procesamiento paralelo distribuido, gran capacidad de almacenamiento, entre otras (Chaoui & Makdoun, 2018), (Nikolopoulos, 2017). La ausencia de sistemas o metodología para ayudar a la organización a implementar su *cloud computing* hace que sea problemático para muchas organizaciones implementarlo con éxito, eficacia y eficiencia (Rad & Rana, 2017), (Steele & Guzman, 2016). Por otro lado, la tecnología *IoT* (*Internet of Things*) se basa en una gran red de máquinas, objetos o personas llamadas “cosas” interactuando juntos para lograr un objetivo común. Dicha tecnología genera continuamente grandes cantidades de datos, generando retos como su comprensión, su procesamiento, su seguridad y su almacenamiento que restringe su desarrollo (Shaaban, Schmittner, Gruber, Quirchmayr, & Schikuta, 2018), (Basingab, Rabelo, Rose, & Gutiérrez, 2017).

La tecnología en la educación superior ha jugado un papel importante en conectar a los tres estamentos: los estudiantes, docentes y administrativos (Mohamed Soliman, 2017). El gran impacto en el campo de la educación no sólo ha cambiado las prácticas tradicionales de enseñanza, sino que también ha producido cambios en la infraestructura de las instituciones educativas, generando el concepto de campus inteligentes (Pandey & Verma, n.d.), (Sánchez-Torres, Rodríguez-Rodríguez, Rico-Bautista, & Guerrero, 2018). Utilizando *IoT* como herramienta para mejorar la educación y facilitar la vida educativa, se presentan a continuación algunos de los trabajos relacionados con este tema. El trabajo de Xu y Hela (Xu & Helal, 2016), examina el uso del Cloud Computing y de *IoT* para incorporar la estructura de los recursos educativos y proporciona un modelo de integración. El trabajo de Whitmore, Agarwal y Xu (Whitmore et al., 2015), confirma que la investigación que se está realizando sobre *IoT* se centra en gran medida en la tecnología en este momento. Una vez que madure la tecnología, la investigación deberá ampliarse a los ámbitos de la gestión, las operaciones, el derecho, la economía y la sociología, entre otros. Otro estudio (Cheng & Xue, 2016), analiza el impacto de cuatro tecnologías diferentes, entre ellas *IoT*, el Cloud Computing, la minería de datos y el Triple-Play en la educación a distancia moderna. El trabajo de investigación (Widya Sari, Wahyu Ciptadi, & Hardyanto, 2017), describe la aplicación de la *IoT* y el Cloud Computing en la educación y también distingue entre campus inteligente y campus digital. En el trabajo (Malatji, 2017), se presentó un modelo arquitectónico integrado para desarrollar un sistema de

IoT en un marco académico. Atzori, Iera, & Morabito (Atzori, Iera, & Morabito, 2017) presentan un enfoque de la evolución desde su naturaleza evolutiva. Se identifican tres etapas principales de evolución del paradigma, cada una caracterizada por tecnologías habilitadoras claves, soluciones arquitectónicas de referencia y productos disponibles. No obstante, lo que es IoT hoy y lo que será en el futuro es, sin duda, el resultado de la convergencia en la trayectoria evolutiva primaria de todas las experiencias de I + D en varios dominios TIC.

3. Resultados y discusión

El análisis de la bibliografía reveló que la investigación que se está realizando sobre IoT se centra en gran medida en la tecnología en este momento. La investigación, a medida que madure la tecnología (IoT y otras); campus y universidades inteligentes deberá ampliarse a los ámbitos tales como la gestión, ver Figura 1. La revisión de la literatura produjo algunos hallazgos importantes que pueden enfocar los esfuerzos en desarrollo de proyectos (Whitmore et al., 2015). Estos incluyen:

- La tecnología de las universidades no está bien representada en la literatura de gestión.
- La literatura encontrada sobre la tecnología está dominada por la investigación relacionada con la tecnología de la IoT.
- La cobertura de los modelos de negocio impulsados por la tecnología es escasa.
- Se ha trabajado poco en cuestiones relacionadas con los marcos jurídicos y de gobernanza.

Muchos investigadores están tratando de definir un modelo conceptual para la universidad inteligente e identificar sus principales características, componentes, tecnologías y sistemas, reduciendo el papel de los métodos tradicionales de enseñanza/aprendizaje en las universidades. Se considera que una prioridad en la realización de proyectos de universidad Inteligente es el sistema virtual de aulas, modernas en términos de hardware y software, centradas en el estudiante. Existe una gran variedad de arquitecturas con dispositivos inteligentes, tecnologías y aplicaciones utilizadas en el entorno educativo que crean aún más dificultades en la estandarización. Hasta el momento no existe un modelo estándar con conceptos y principios bien definidos (Banica et al., 2017). El proceso de “**smartificación**”, tomado como no como un objetivo, sino como una forma de vida, un medio, un proceso continuo de mejora, supone un cambio de paradigma o modelo, mediante el cual se pretende afianzar el concepto de una universidad más abierta, y como consecuencia adaptar su modelo de gestión a los nuevos tiempos rediseñando sus relaciones entre los sectores público y privado, la relación con la comunidad universitaria, sus sinergias y sus ejes transversales donde todos los actores y sus infraestructuras deben coordinarse para un fin común: la sostenibilidad y calidad de vida (Ali & Majeed, 2018; Green, 2014; Hipwell, 2014; Maciá, 2017; Staskeviciute & Neverauskas, 2008). Por tal razón es de vital importancia que cualquier universidad pueda y deba constituir, un punto de encuentro entre los distintos agentes económicos públicos y privados, propiciando un entorno donde las empresas, puedan debatir sobre distintas opciones, recibir apoyo científico y participar en proyectos novedosos.

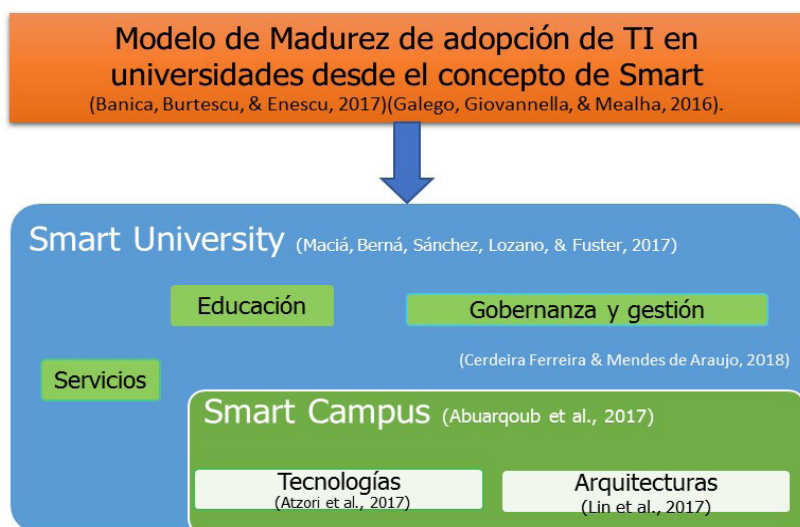


Figura 1 – Smart Campus vs Smart University.

A pesar de la importancia y el considerable tiempo para adoptar nuevas tecnologías en la universidades (ESPAÑOLAS, 2015; Gómez, Jimenez, Gumbau, & Llorens, 2016); en países como España (Gómez, Jimenez, Gumbau, & Llorens, 2017), México (ANUIES, 2017) y Ecuador (Padilla, Cadena, Enríquez, Córdova, & Llorens, 2017), no se contaba con un estudio que permitiera visualizar la situación de la tecnología en estas instituciones (Antonio Fernández Martínez, 2014; ESPAÑOLAS, 2015; Gómez et al., 2016, 2017; Padilla et al., 2017; Valls, Villers, & Duque, 2016). Al generar dicho estudio, y su correspondiente análisis, permitió un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y la posibilidad de visualizar proyectos de colaboración entre ellas, favoreciendo así la optimización de las inversiones. En Colombia hasta el momento se carece de dicho estudio. Dada la definición y la delimitación del concepto de *smart city* y *smart university*, el siguiente paso es el de definir un marco para poder evaluar el grado de desarrollo *smart* de dichos servicios (Del & Une, 2017; Muñoz López et al., 2015; Ontiveros et al., 2016; Staskeviciute & Neverauskas, 2008), teniendo en cuenta por ejemplo, el marco del Comité Técnico de Normalización 178 de AENOR, cuyo objetivo es la definición de una serie de métricas e indicadores tanto cuantitativos como cualitativos de una comunidad inteligente bajo las siguientes actividades (Iberoamericano, 2016; Maciá, 2017; Ministerio de Modernización Innovación y Tecnología, 2017):

- Definir un modelo sencillo que permita, de forma práctica, la evaluación del grado de desarrollo de un servicio inteligente.
- Disponer de una herramienta sencilla para que puedan hacer una evaluación del estado de sus servicios en relación con el objetivo de convertirlos en inteligentes.

- Tratar de establecer un modelo que sea complementario a los trabajos que se desarrollan en el marco del citado Comité Técnico.

Existen otras iniciativas globales y normas internacionales que buscan la estandarización de indicadores, sobresale la norma ISO 37120:2014, donde se busca monitorizar y realizar un seguimiento del progreso del rendimiento y sostenibilidad de los servicios de una ciudad y de la calidad de vida, punto de inicio para ser aplicado a una comunidad como lo es una Universidad. Este escenario tanto en las ciudades como en las universidades revela, que nos encontramos ante un nuevo paradigma social que, por su complejidad y transversalidad, ha evolucionado sin un modelo general de referencia. Al existir una gran variedad de dispositivos inteligentes, tecnologías y aplicaciones utilizadas en el entorno educativo se crean dificultades en la estandarización. La mayoría de las revisiones y trabajos existentes hasta el momento en su gran mayoría se han centrado en aspectos específicos de la tecnología, arquitecturas e infraestructura. Específicamente no hay ninguna revisión disponible sobre las aplicaciones en el ámbito de la gestión en el área de la educación. Lo que abre un espacio de trabajo ya que no existe un modelo estándar con conceptos y principios bien definidos (Banica et al., 2017). Esto proyecta la necesidad de *diseñar modelos y arquitecturas* que permitan sostener esta explosión de ideas, tecnologías y servicios a los ciudadanos (Galego, Giovannella, & Mealha, 2016). Una universidad en búsqueda de su mejoramiento continuo define los objetivos estratégicos que orientan el desarrollo del Plan Estratégico TIC a través de proyectos, desglosados en actividades y responsables, ver figura 2. La visión se concibe en un horizonte de (5) años, y se concreta un primer momento o espacio de (3) años, el cual se considera apropiado para implementar las tecnologías inteligentes y hacer seguimiento a las acciones definidas, de acuerdo con la dinámica que vive la institución (Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, Guerrero, & Antón, 2019), (Medina-Cárdenas & Rico-Bautista, 2016).

¿Por qué se hace planificación y previsión? Se debe a que el futuro no está predeterminado ni es predecible. Y, por supuesto, si lo fuera, no tendría sentido actuar hoy porque no tendría ningún efecto en el futuro. Y también la razón es que no se tiene toda la información sobre el futuro, así que se necesita tener alguna ayuda para hacer estas conjeturas. Cuando se construye un modelo o una teoría, se usan datos históricos y con el uso de la inducción se produce. Se tienen los datos históricos y también se conoce unas actividades sobre el futuro, hay algunas preguntas que hacer, pero la cuestión principal es que las cosas que no sabemos que no sabemos (Medina Cárdenas, Areniz Arévalo, & Rico Bautista, 2016). Las universidades generan la alta dirección el Plan de Desarrollo Institucional, que es su mapa de navegación. Se incorporan las Tecnologías de Información y Comunicación a todos los procesos institucionales, administrativos y académicos. Según Rockart (Rockart, 1979), los Factores Clave de Éxito - FCE se definen como el número limitado de áreas, en las cuales los resultados, si son satisfactorios, asegurarán un funcionamiento competitivo y exitoso para la organización.

La función principal de la unidad organizacional de TI, es brindar apoyo y soporte tecnológico a todos los procesos de la institución (Medina & Rico-Bautista, 2008). Teniendo como base el entorno que rodea la Institución, sus macropolíticas y la naturaleza

misma; así como el mejoramiento continuo de los procesos, enmarcado en su política de calidad y servicios en tecnología como parte de su misión, es vital para la dependencia encontrar la mejor manera de aplicar su experiencia, experticia, conocimiento, talento humano y recursos para ofrecer a la universidad sus servicios con calidad, ejerciendo control sobre las necesidades, requerimientos y desafíos en su negocio, sus clientes y los usuarios finales (Medina-Cárdenas & Rico- Bautista, 2009), (Medina-Cárdenas & Rico- Bautista, 2012).

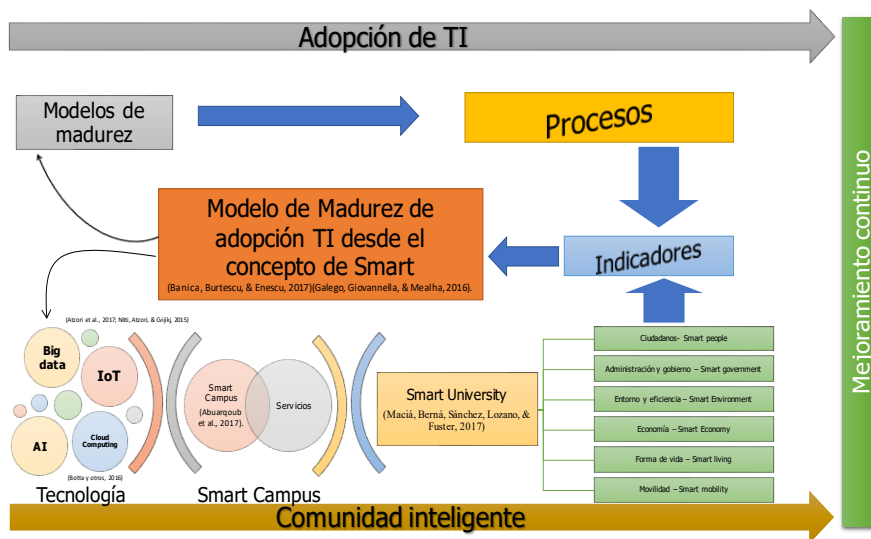


Figura 2 – Propuesta mapa estratégico.

En la actualidad, se incorpora el término de universidad inteligente “smart university”. Las universidades pueden considerarse universidades inteligentes, ya que utilizan de manera rentable las tecnologías disponibles para mejorar su desempeño y mejorar la calidad de sus graduados (Aldowah, Ul Rehman, Ghazal, & Naufal Umar, 2017), (Bueno-Delgado, Pavón-Marino, De-Gea-García, & Dolón-García, 2012). A pesar de esto, todavía hay espacio para mejorar y las universidades deberían convertirse en universidades más inteligentes (Shvetsova, 2017). En una universidad más inteligente, las mejores soluciones tecnológicas fomentan la colaboración y la cooperación entre las personas (Coccoli, Guercio, Maresca, & Stanganelli, 2014). La dependencia de TI en las universidades en este escenario de SU, ayudará y soportará a que las áreas representen una integración de 1) sistemas inteligentes e inteligentes, objetos inteligentes y entornos inteligentes, 2) tecnologías inteligentes, varias ramas de la informática y la ingeniería informática, 3) sistemas, agentes y herramientas de software y/o hardware educativos inteligentes de última generación, y 4) pedagogía innovadora y estrategias de enseñanza y metodologías de aprendizaje basadas en tecnologías avanzadas (Savov, Terzieva, Todorova, & Kademova-Katzarova, 2017), (Rueda-Rueda, Manrique, & Cabrera Cruz,

2017). Los datos generados por esos servicios sirven de insumo para otras iniciativas, principalmente las que se dirigen a la gestión del campus, en actividades dirigidas a la toma de decisión (Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, & Guerrero, 2019).

4. Conclusiones

Desde el proceso de alta dirección se debe definir un modelo de universidad donde se incluya una estructura de TI donde aporte valor y se genere una respuesta a las necesidades de dicho modelo. Esto va de la mano con la tendencia identificada en a través de la revisión, la cual pone de manifiesto la necesidad de la alineación e integración de la tecnología con los procesos de la organización, reclamando mayor interacción con la alta dirección.

Se deben analizar los estamentos y la relación con los procesos donde estén implicados, es decir, como las tecnologías de TI usadas y cada factor dentro de la universidad pueden enriquecer a la comunidad universitaria. La unidad organizacional de TI de las Universidades son los encargados de adaptar todas estas tecnologías “Smart” al ámbito universitario en cada una de sus facetas docentes, investigadoras, de gestión o de gobierno. La complejidad es grande, se habla de entornos muy diversos con necesidades muy diferentes.

Un nuevo **modelo de universidad** es la meta de este proceso de transformación. Definirlo no es tarea sencilla ya que ni siquiera visualizamos con claridad qué es lo que pretendemos. Este paso del modelo analógico al digital debe ser definido por los Equipos de Dirección a través de la visión, identificando aquellas partes del servicio universitario que van a verse inmersas en cambios por la digitalización y determinando aquellas áreas en las que la universidad genera un valor diferencial en su prestación de servicios (Españolas, 2017).

Agradecimientos

A la UFPS Ocaña, mediante la División de Investigación y Extensión (DIE) vincula a docentes, administrativos y estudiantes para que participen en la ejecución y desarrollo de proyectos de investigación.

Referencias

- Adamkó, A., Kádek, T., & Kósa, M. (2014). Intelligent and adaptive services for a smart campus. *5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2014 - Proceedings*, 505–509. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2014.7020509>
- Al-ruithe, M. (2017). Cloud Data Governance Maturity Model.
- Aldowah, H., Ul Rehman, S., Ghazal, S., & Naufal Umar, I. (2017). Internet of Things in Higher Education: A Study on Future Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 892, 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/892/1/012017>

- Ali, M., & Majeed, A. (2018). How Internet-of-Things (IoT) Making the University Campuses Smart ?, 646–648. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2018.8301774>
- Antonio Fernández Martínez, F. L. L. (2014). *Universitic Latam 2014. Igarss 2014*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- ANUIES. (2017). *Estado actual de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en las Instituciones de Educación Superior en México*.
- Atif, Y., Mathew, S. S., & Lakas, A. (2015). Building a smart campus to support ubiquitous learning. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 6(2), 223–238. <https://doi.org/10.1007/s12652-014-0226-y>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122–140. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.12.004>
- Banica, L., Burtescu, E., & Enescu, F. (2017). The impact of internet-of-things in higher education. *Scientific Bulletin-Economic Sciences*, 16(1), 53–59.
- Basingab, M., Rabelo, L., Rose, C., & Gutiérrez, E. (2017). Business Modeling Based on Internet of Things : A Case Study of Predictive Maintenance Software Using ABS Model. <https://doi.org/10.1145/3018896.3018905>
- Bueno-Delgado, M. V, Pavón-Marino, P., De-Gea-García, A., & Dolón-García, A. (2012). The Smart University Experience: An NFC-Based Ubiquitous Environment. In *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing* (pp. 799–804). <https://doi.org/10.1109/IMIS.2012.110>
- Cao, T., Chen, X., Doss, R., Zhai, J., Wise, L. J., & Zhao, Q. (2016). RFID ownership transfer protocol based on cloud. *Computer Networks*, 105, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.05.017>
- Chaoui, H., & Makdoun, I. (2018). A new secure model for the use of cloud computing in big data analytics, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3018896.3018913>
- Chaveesuk, S. (2018). Cloud Computing Classroom Acceptance Model in Thailand Higher Education ' s Institutes : A Conceptual Framework, 141–145. <https://doi.org/10.1145/3285957.3285989>
- Cheng, X., & Xue, R. (2016). Construction of Smart Campus System Based on Cloud Computing. *Proceedings of the 2016 6th International Conference on Applied Science, Engineering and Technology (ICASET)*, 77(Icaset), 187–191. <https://doi.org/10.2991/icaset-16.2016.37>
- Coccoli, M., Guercio, A., Maresca, P., & Stanganelli, L. (2014). Smarter universities: A vision for the fast changing digital era. *Journal of Visual Languages and Computing*, 25(6), 1003–1011. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2014.09.007>
- Consejo Privado de Competitividad. (2017). Informe nacional de competitividad 2017-2018, 271. <https://doi.org/ISSN 2016-1430>
- Del, E., & Une, D. (2017). Norma Española Accesibilidad Universal en las Ciudades Inteligentes.

- Españolas, C. U. (2017). *TIC 360º - Transformación Digital en la Universidad*.
- ESPAÑOLAS, C. U. (2015). *Análisis de las TIC en las Universidades Españolas. Universitíc 2015*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Flauzac, O., Gonzalez, C., & Nolot, F. (2015). New security architecture for IoT network. In *Procedia Computer Science* (Vol. 52, pp. 1028–1033). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.099>
- Galego, D., Giovannella, C., & Mealha, Ó. (2016). Determination of the Smartness of a University Campus: The Case Study of Aveiro. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 223, 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.336>
- Gershenfeld, N., Krikorian, R., & Cohen, D. (2004). *The internet of things. Scientific American* (Vol. 291). <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1004-76>
- Gómez, J., Jimenez, T., Gumbau, J., & Llorens, F. (2016). UNIVERSITIC 2016 Análisis de las TIC en las Universidades Españolas, 150.
- Gómez, J., Jimenez, T., Gumbau, J., & Llorens, F. (2017). *Universitíc 2017 Análisis de las TIC en las Universidades Españolas*.
- Green, J. (2014). The Internet of Things Reference Model. *Internet of Things World Forum*, 1–12.
- Hipwell, S. (2014). Developing smart campuses #x2014; A working model. *2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IGBSG.2014.6835169>
- Iberoamericano, O. (2016). Manual Iberoamericano de Indicadores de Educación Superior: Manual de Lima, 88 p.
- Karkošková, S. (2018). Towards Cloud Computing Management Model Based on ITIL Processes. <https://doi.org/10.1145/3278252.3278265>
- Khamayseh, Y., Mardini, W., Aljawarneh, S., & Yassein, M. B. (2015). Integration of wireless technologies in smart university campus environment: Framework architecture. *International Journal of Information and Communication Technology Education*. <https://doi.org/10.4018/ijicte.2015010104>
- Maciá, F. (2017). *Smart University. Hacia una universidad más abierta*. (Alfaomega & Marcombo, Eds.) (Primera).
- Maestre-Góngora, G. (2016). Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: una perspectiva centrada en las TIC. *Ingeniare*, 19(19), 137–149.
- Maestre-Gongora, G., & Colmenares-Quintero, R. F. (2018). Systematic mapping study to identify trends in the application of smart technologies. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 2018-June*, 1–6. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8398638>
- Malatji, E. M. (2017). The development of a smart campus - African universities point of view. In *2017 8th International Renewable Energy Congress, IREC 2017*. <https://doi.org/10.1109/IREC.2017.7926010>

- Medina-Cárdenas, Y., & Rico- Bautista, D. (2009). Modelo de gestión basado en el ciclo de vida del servicio de la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información (ITIL). *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, (27), 1–21.
- Medina-Cárdenas, Y., & Rico-Bautista, D. (2012). Mejores prácticas de gestión para la calidad de los servicios en tecnologías de información. *Gerencia Tecnológica Informática*.
- Medina-Cárdenas, Y., & Rico-Bautista, D. (2016). Alineación estratégica bajo un enfoque organizacional de gestión tecnológica: ITIL & ISO 20000. *Tecnura*. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.SE1.a06>
- Medina Cárdenas, Y. C., Areniz Arévalo, Y., & Rico Bautista, D. W. (2016). *Modelo estratégico para la gestión tecnológica en la organización: plan táctico de la calidad (ITIL & ISO 20000)*. (Instituto Tecnológico Metropolitano, Ed.). Instituto Tecnológico Metropolitano. <https://doi.org/10.22430/9789585414006>
- Medina, Y., & Rico-Bautista, D. (2008). Modelo de gestión de servicios para la universidad de Pamplona: ITIL. *Scientia Et Technica*, XIV(39), 314–319.
- Ministerio de Modernización Innovación y Tecnología. (2017). La Importancia de un Modelo de Planificación Estratégica para el Desarrollo de Ciudades Inteligentes, 32.
- Mohamed Soliman, E. (2017). Experimental Evaluation of Internet of Things in the Educational Environment. *International Journal of Engineering Pedagogy (IJEPP)*, 7(3), 50–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.3991/ijep.v7i3.7187>
- Muñoz López, L., Proyecto, D., Antón Martínez, P., & Fernández Ciez, S. (2015). El Estudio y Guía Metodológica sobre Ciudades Inteligentes ha sido dirigido y coordinado por el equipo del ONTSI. *Deloitte*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Nikolopoulos, F. (2017). Using UTAUT2 for Cloud Computing Technology Acceptance Modeling, (1995).
- Ontiveros, E., Vizcaíno, D., & López Sabaer, V. (2016). *Las ciudades del futuro : inteligentes , digitales y sostenibles futuro : inteligentes , digitales y sostenibles*.
- Padilla, R., Cadena, S., Enríquez, R., Córdova, J., & Llorens, F. (2017). *Estado de las tecnologías de la información y la comunicación en las universidades ecuatorianas*.
- Pandey, R., & Verma, M. (n.d.). Current Emerging Trends in IOT : A Survey and Future Prospects, 8(Iii), 339–344.
- Perboli, G., De Marco, A., Perfetti, F., & Marone, M. (2014). A new taxonomy of smart city projects. *Transportation Research Procedia*, 3, 470–478. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.028>
- Rad, B. B., & Rana, M. E. (2017). Cloud Computing Adoption : A Short Review of Issues and Challenges Cloud Computing Adoption : A Short Review of Issues and Challenges, (June). <https://doi.org/10.1145/3108421.3108426>
- Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Guerrero, C. D. (2019). Smart University: A Review from the Educational and Technological View of Internet of Things. In *Information Technology and Systems Proceedings of ICITS 2019* (pp. 427–440). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_42

- Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., Guerrero, C. D., & Antón, G. (2019). Análisis del valor potencial de la tecnología: Caso Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. *RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de La Información)*, *E17*(1), 756–774.
- Rjab, A. Ben, & Mellouli, S. (2018). Smart cities in the era of artificial intelligence and internet of things, (1), 1–10. <https://doi.org/10.1145/3209281.3209380>
- Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*. <https://doi.org/Article>
- Rohs, M., & Bohn, J. (2003). Entry points into a smart campus environment-overview of the ETHOC system. *Distributed Computing Systems Workshops*, ..., 1–7.
- Rueda-Rueda, J., Manrique, J., & Cabrera Cruz, J. (2017). *Internet de las Cosas en las Instituciones de Educación Superior*.
- Sánchez-Torres, B., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Rico-Bautista, D. W., & Guerrero, C. D. (2018). Smart Campus: Trends in cybersecurity and future development. *Revista Facultad de Ingeniería*, *27*(47). <https://doi.org/10.19053/01211129.v27.n47.2018.7808>
- Savov, T., Terzieva, V., Todorova, K., & Kademova-Katzarova, P. (2017). Contemporary technology support for education. *CBU International Conference Proceedings*, *5*, 802.
- Shaaban, A. M., Schmittner, C., Gruber, T., Quirchmayr, G., & Schikuta, E. (2018). CloudWoT - A Reference Model for Knowledge-based IoT Solutions. <https://doi.org/10.1145/3282373.3282400>
- Shaoyong, C., Yirong, T., & Zhefu, L. (2016). UNITA: A Reference Model of University IT Architecture. *ICCIS '16: Proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Information Systems*, 73–77. <https://doi.org/10.1145/3023924.3023949>
- Shvetsova, O. A. (2017). Smart education in high school: New perspectives in global world. In *2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS)* (pp. 688–691). <https://doi.org/10.1109/IvvTMQIS.2017.8085917>
- Staskeviciute, I., & Neverauskas, B. (2008). The Intelligent University's Conceptual Model. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, (4), 53–58.
- Steele, E. H., & Guzman, I. R. (2016). Investigating the Role of Top Management and Institutional Pressures in Cloud Computing Adoption, 25–26.
- Valls, J., Villers, R., & Duque, G. (2016). *Estado Actual de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en las Instituciones de Educación Superior en México*.
- Vega-Hernández, M. C., Patino-Alonso, M. C., & Galindo-Villardón, M. P. (2018). Multivariate characterization of university students using the ICT for learning. *Computers and Education*, *121*, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.004>

- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2>
- Widya Sari, M., Wahyu Ciptadi, P., & Hardyanto, R. (2017). *Study of Smart Campus Development Using Internet of Things Technology*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 190). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/190/1/012032>
- Williams, C. (Software B. (2016). Smart Systems. *Cybertalk*, (April).
- Xu, Y., & Helal, A. (2016). Scalable Cloud-Sensor Architecture for the Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(3), 285–298. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2455555>

Módulo: Osciloscopio, Generador de Señales y Analizador de Espectro de Frecuencia con tecnología de Bajo Costo

Christian Chasi Cajas¹, Jefferson De la Cruz², Amparo Meythaler Naranjo³, Marco Pilatasig Panchi⁴

{cpchasi1, jadelacruz, ammeythaler, mapilatasig}@espe.edu.ec

¹ Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

² Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

³ Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

⁴ Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

Pages: 725–738

Resumen: Este artículo presenta un sistema didáctico alternativo de dos canales para corriente continua CC. y corriente alterna CA. con tres opciones, osciloscopio, generador de señales y analizador de espectro de frecuencia. El HMI (Intefaz Humano-Máquina) se desarrolló en una TFT (Pantalla de Cristal Líquido) de cinco pulgadas embebida en una tarjeta Raspberry 3PI modelo B. La adquisición, acondicionamiento, procesamiento y generación de señales se realizó en la tarjeta Artix-7 35T que utiliza la plataforma Vivado 2018.3 propia de Xilinx. En el osciloscopio, se puede medir los valores típicos de una señal eléctrica. El generador presenta señales de tipo cuadrada, triangular y sinusoidal, con características configurables. El analizador de espectro de frecuencia permite visualizar los armónicos y el valor de %THD (Distorción Armónica Total) para los diversos valores de la frecuencia natural W_n .

Palabras-clave: osciloscopio; generador de señales; analizador de espectros

Module: Oscilloscope, Signal Generator and Frequency Spectrum Analyzer with Low Cost Technology

Abstract: This article presents an alternative two-channel didactic system for DC direct current and AC alternate current with three options, oscilloscope, signal generator and frequency spectrum analyzer. The HMI (Human Machine Interface) was developed in a five-inch TFT (Liquid Crystal Display) embedded in a Raspberry 3PI model B card. The acquisition, conditioning, processing and signal generation was performed on the Artix-7 35T card which uses Xilinx's Vivado 2018.3 platform. In the oscilloscope, the typical values of an electrical signal can be measured. The generator presents square, triangular and sinusoidal signals, with configurable

characteristics. The frequency spectrum analyzer allows displaying the harmonics and the value of% THD (Total Harmonic Distortion) for the various values of the natural frequency W_n .

Keywords: osciloscopio; signal generator; spectrum analyzer.

1. Introducción

Los equipos de medición y generación como el osciloscopio, analizador de espectro de frecuencia, generador de funciones, permiten monitorear las señales eléctricas generadas por distintos procesos (Diz,2012), (Lemos, Brunini, Botura, Marques & Rosa, 2011), además brindan la capacidad de recrear las señales para fines específicos dentro de la ingeniería (Sridharan, Sivasubramaniam & Vishwanath, 2013). Existen dos tipos de instrumentos los tradicionales y los virtuales (Jin & Li, 2010); los tradicionales son los más costosos y de mayor potencialidad (Lojka, Šatala, Mocnej, & Zolotová, 2015), sus características están definidas por el fabricante; es decir, son de arquitectura cerrada con funcionalidad fija y conectividad limitada en las cuales el usuario por lo general no puede extender o personalizar las tareas a realizar (Sreenivasan & Jayarani, 2015), en este grupo existen los osciloscopios con módulo CRT (Tubo de Rayos Catódicos) que son relativamente voluminosos, pesados, poco fiables e imprecisos en la medición (Denisov, 2010), y los nuevos modelos con tecnología digital, la clave en el diseño es su hardware; para visualizar y controlar las mediciones emplean un panel frontal (Winiecki, 2006). Los instrumentos virtuales son de arquitectura abierta constituídos de igual manera por hardware y software (Guo, et al., 2013), el hardware es el encargado de adquirir las señales y de ser necesario generarlas, el software, al ser de arquitectura abierta presenta una máxima flexibilidad y manejabilidad para satisfacer las necesidades del usuario. El instrumento permite manejar el hardware mediante una interfaz que se asemeja al panel de mandos de los instrumentos tradicionales (Singh & Mahmoud, 2017a). El HMI es el mediador entre el proceso y el operador, básicamente un panel para el operador (Singh & Mahmoud, 2017b), esencialmente consta de controles e indicadores para visualizar la información (Zhang & Wang, 2015), es común emplear paneles táctiles que ofrece la oportunidad no sólo de presentar cualquier proceso de trabajo, sino también la posibilidad de controlarlo sin la necesidad de botones o perillas (Park, Park, Kim, Kim & Wang, 2015). En el desarrollo del HMI hay que tener en cuenta quien usará la aplicación y para qué, haciendo énfasis en mostrar la información más relevante de forma clara y concisa (Valentina, Ruppert, Nenninger & Mendoza, 2013). Pueden implementarse en lenguajes de programación gráfica (LabView, Snap Master, DasyLab, entre otras) y lenguajes de texto (Visual Basic, C++, LabWindows/CVI, Phyton, entre otras). Uno de los lenguajes más empleados es Python que es un lenguaje de arquitectura abierta, que reduce el costo en el diseño de aplicaciones, además posee varias librerías para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario como Tkinter la librería que viene incluida en la mayoría de distribuciones de Python (Goldemberg, Pellini, Kaiser & Komatsu, 2009). Se han desarrollado diversos instrumentos virtuales con funciones limitadas, entre ellos generadores virtuales con HMI diseñadas en LabView de baja potencialidad, y no tan enfocados a un diseño ergonómico para el usuario, varios de ellos diseñados con fines demostrativos y no prácticos (Diz,2012), (Zhao, Wang, Chen, Cai, Lv, & Feng, 2017), además, varios dispositivos emplean tarjetas FPGA (Field Programmable

Gate Array) para adquirir y manejar señales donde la dificultad radica en la comunicación con el HMI, siendo estas muy simples condicionadas a indicar pocos valores de la medición (Ludwiczak, Rozek, & Pochmara, 2008), (Hadi, Widodo & Alasiry, 2016). Otros instrumentos virtuales usan el monitor de la computadora para la visualización de la información limitando así la zona de trabajo (Chen & Liu, 2009).

Los trabajos anteriores se limitan a una sola funcionalidad, se propone diseñar un sistema didáctico, conformado por un osciloscopio, generador de señales y un analizador de espectro de frecuencia, integrados dentro de un mismo HMI con un menú que despliega las opciones de selección del instrumento a utilizar. El desarrollo de la interface, se basó en el widget canvas de Tkinter que permite crear una superficie sobre la que se puede dibujar distintas figuras, líneas, puntos entre otras. Para colocar los botones y las etiquetas de forma ordenada en la pantalla TFT se utilizó el método de geometría de cuadrícula y posicionamiento relativo respectivamente. Para el generador de señales se utilizó el método de posicionamiento relativo que ubica los botones y las etiquetas, con el fin de generar las formas de ondas se creó un vector desde la FPGA para la construcción de las señales. El artículo está organizado en V Secciones incluida la Introducción. La Sección II presenta la formulación del problema. La Sección III presenta el diseño y la implementación del sistema didáctico. La Sección IV presenta el análisis de resultados obtenidos; con la realización de pruebas experimentales. Finalmente, las conclusiones se presentan en la Sección V.

2. Formulación del Problema

El osciloscopio es un sistema que captura diferentes señales eléctricas y electrónicas, que se obtienen en forma de diferencia de potencial o tensiones (Denisov, 2010), con el objetivo de estudiarlas y que pueden visualizarse en la pantalla del equipo, o pueden estar integradas a un monitor externo como una PC u ordenador portátil. El generador de señal es un dispositivo electrónico que produce ondas senoidales, cuadradas, triangulares, TTL; a diversas frecuencias, se utiliza ampliamente en la enseñanza experimental, la práctica de producción y la investigación científica (Diz, 2012). El analizador de espectro de frecuencia es un instrumento de medición utilizado con regularidad por los laboratorios para realizar diversos análisis espectrales (Lemos, Brunini, Botura, Marques & Rosa, 2011). Cada uno de los equipos descritos son ampliamente utilizados en los laboratorios de las Universidades, sus fines pueden ser industriales, académicos o de investigación, son fundamentales para la generación y medición instantánea de algunas variables eléctricas y electrónicas de circuitos análogos y digitales que son visibles en una pantalla. Los equipos son ampliamente utilizados por los estudiantes en cursos de experimentación, mecánica, ingeniería y otros campos (Goldemberg, Pellini, Kaiser & Komatsu, 2009), pero presentan algunos inconvenientes, como el costo de adquisición en el mercado que generalmente es muy elevado, el gran tamaño de los equipos los hace difíciles de transportarlos y poseen formas de configuración complejas. El sistema didáctico propuesto, presenta un modo de selección de funciones que se controla por un menú y proporciona un HMI para que los usuarios interactúen con cada uno de los equipos programados en lenguaje Python.

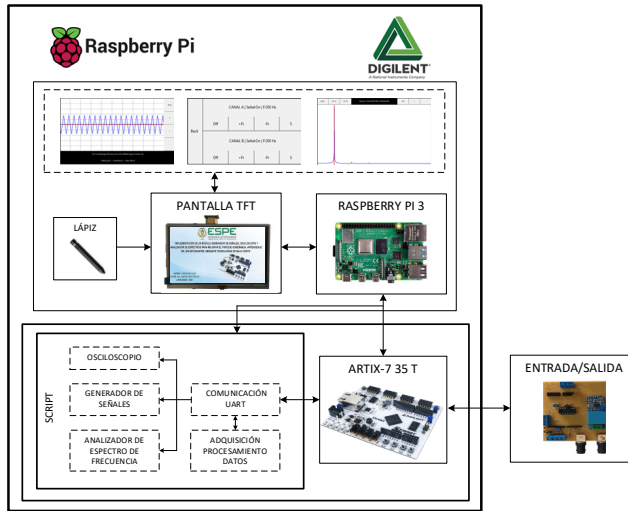


Figura 1 – Diagrama del sistema didáctico

La información ingresa a través de un circuito electrónico diseñado con dos canales, el canal A es utilizado para ingresar señales de corriente alterna y el canal B para señales de corriente continua. Las salidas presentan dos canales para generar ondas sinusoidales, cuadradas y triangulares; con una sección de filtrado para eliminar el paso de frecuencias o ruidos que generen distorsión en la salida. El acondicionamiento, adquisición, procesamiento y generación de señales se realizó en la tarjeta Artix-7 35T, que utiliza la plataforma Vivado 2018.3 propia de Xilinx. La pantalla TFT de cinco pulgadas se conecta a la tarjeta Raspberry Pi 3 modelo B con un conector doble HDMI; ambos se conectan a la tarjeta Artix mediante un cable usb 2.0, la integración de los elementos mencionados constituyen el sistema didáctico, que trabaja con una fuente de alimentación de 110V. La Fig. 1 muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto. El protocolo de comunicación UART proporciona una comunicación bilateral entre la tarjeta Artix y la Raspberry. La TFT envía el valor del serial mediante comandos hacia la FPGA, y como respuesta se obtiene la información que requiera el usuario en cada una de las opciones del módulo.

3. Diseño e implementación de los HMIs

Esta sección describe el desarrollo de los HMIs diseñados para cada uno de los equipos, el sistema implementado se basa en una arquitectura de interacción intuitiva para el usuario. La lógica de programación desarrollada permite al usuario ingresar a un menú principal que cuenta con tres opciones (Fig. 2), y en cada uno se puede, observar y manipular los valores típicos de una señal eléctrica, dependiendo de los requerimientos del usuario.

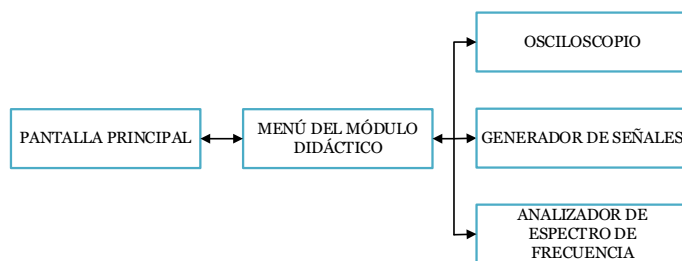


Figura 2 – Diagrama de los HMIs del módulo didáctico

3.1. Implementación del menú principal

Se utilizaron librerías propias de Python, para establecer la comunicación serial entre las dos tarjetas de aplicación. La librería Tkinter permite al usuario crear diversas aplicaciones de interfaces gráficas independientes orientadas a objetos, la pantalla principal ocupa la totalidad de los pixeles de la TFT de 5 pulgadas, y en cada una de las funciones declaradas se definen los botones, etiquetas y el lienzo, correspondientes a cada opción que presenta el menú principal.

3.2. Diseño del HMI del osciloscopio

Se define un vector de $[10 \times 10]$ que representa la división de la pantalla TFT, para crear el lienzo que representa una sección del área total de la pantalla, y visualizar las formas de onda (sinusoidal, cuadrada y rectangulares), se utilizó una aplicación del módulo Tkinter que permite introducir el área de dibujo en una zona definida por un contenedor de clase Tk(), a partir de la altura y el ancho que posee la pantalla gráfica, tomando los valores actuales y siguientes; la Fig. 3 muestra la distribución de los pixeles utilizados para crear el lienzo.



Figura 3 – Distribución de las coordenadas del lienzo

Para ordenar los botones ubicados en la parte derecha de la pantalla y las etiquetas ubicados en la parte inferior es necesario manipular la matriz declarada, de manera que para cada opción de se debe ubicar de forma matricial los 4 botones en la parte derecha

y las etiquetas en la parte inferior. Se utiliza el método de geometría de cuadrícula que permite posicionar los widgets en una celda de forma específica, se indica el número de celda usando el índice de fila y columna correspondiente; al ancho y la altura de cada celda se puede configurar de acuerdo a las necesidades. Las etiquetas ubicadas en la coordenada $[10 \times 10]$, muestran los valores del Vpp, Vrms, y la frecuencia de la señal que se ingresa al osciloscopio para cada canal, en la coordenada $[10 \times 10]$ las etiquetas presentan los valores del período T y las divisiones de voltaje, finalmente los botones de la parte derecha permiten al usuario regresar al menú principal, cambiar los valores de la escala, manipular el trigger para seleccionar el canal A o B, desplazar el eje de los canales en el eje Y, cambiar la amplitud de las señales, aumentar o disminuir el valor del periodo y seleccionar el tipo de interpolación para cada señal ingresada, se tiene dos tipos: lineal y sinusoidal, la Fig. 4 muestra la distribución de los elementos que integran la ventana del osciloscopio.

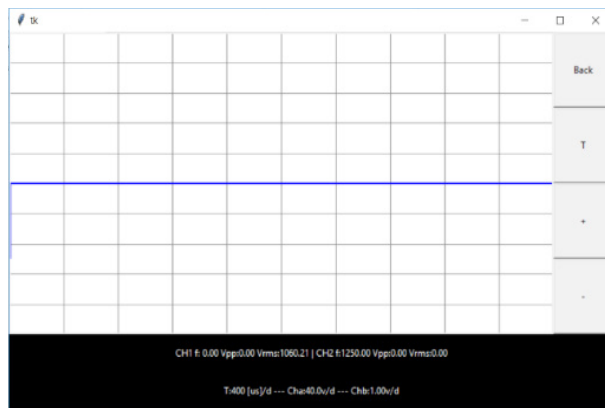


Figura 4 – HMI de la pantalla del osciloscopio

3.3. Diseño del HMI del generador de señales

Se introdujeron dos etiquetas que muestran la variación de los valores de frecuencia en el canal A y en canal B. Los botones se ubicaron mediante el método de posicionamiento relativo, que especifica con una matriz el orden de los botones, en la parte superior e inferior de la pantalla TFT, en la Fig. 5 se muestra el HMI del generador con los botones correspondientes a cada uno de los canales.

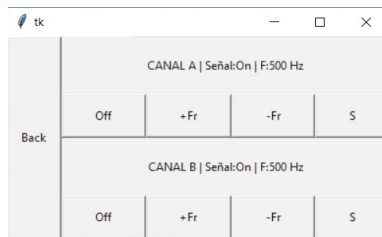


Figura 5 – HMI de la pantalla del generador de señales

Los botones On y Off activan y desactivan el canal seleccionado, al presionar el botón S se puede ir seleccionando el tipo de señal, existen 3 tipos: señal sinusoidal, cuadrada y triangular, además aumentar o disminuir la frecuencia de la señal utilizando los botones +Fr y -Fr respectivamente, desde 1 Hz hasta 5KHz donde su variación se observa en las etiquetas creadas para cada canal.

3.4. Diseño del HMI del analizador de espectro de frecuencia

Se utilizó un contenedor widget Frame, que permite agrupar el lienzo y los widgets. El área total de la pantalla está compuesta por una matriz de $[10 \times 10]$. El lienzo se creó utilizando una matriz en la posición $[1 \times 9]$ definida como el área de visualización de los armónicos, los botones se los ubicó en la matriz de posición $[0 \times 9]$ con un tamaño mínimo de $[48 \times 80]$ pixeles. Los botones creados se utilizan, para observar las variaciones de W_n y el valor del %THD. En la Fig. 6 se muestra el HMI del analizador de espectro de frecuencia.

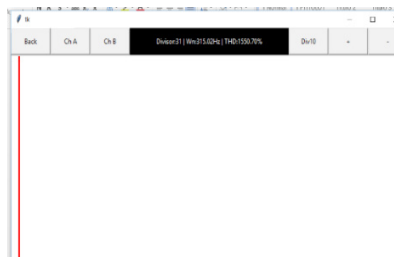


Figura 6 – HMI de la pantalla del analizador de espectro de frecuencia

Cada uno de los botones envían el dato hacia la FPGA mediante comandos y como respuesta se pueden realizar diferentes acciones con los botones como: regresar al menú principal, activar el canal A o el canal B, cambiar el trigger a W_n o viceversa, al seleccionar el trigger se puede aumentar o disminuir los divisores de tiempo, para cambiar la escala, que permite acercar o alejar la gráfica de los armónicos para visualizar el valor del %THD, colocando el selector en la W_n del armónico seleccionado, alcanzando un rango de medición de 1Hz hasta 500KHz.

4. Resultados y discusión

Esta sección presenta las pruebas y los resultados obtenidos con el sistema didáctico, su rendimiento fue probado por equipos de uso comercial. Se utilizó el osciloscopio Agilent DSO-X 2014A y el generador de funciones Agilent 33500B. Para la sección del analizador de espectro de frecuencia el módulo se validó utilizando una aplicación desarrollada en el software Matlab R2018b.

4.1. Test osciloscopio

Se procede a realizar mediciones con el osciloscopio del módulo utilizando el canal B para CC. Las ondas de prueba se generaron desde el equipo Agilent 33500B, y se varió

el valor de la frecuencia desde 1Hz hasta los 500KHz, para determinar el error relativo porcentual en cada señal de salida. La Fig. 7 muestra tres formas de onda a diversas frecuencias, medidas con el sistema didáctico y con el equipo Agilent DSO-X 2014^a.

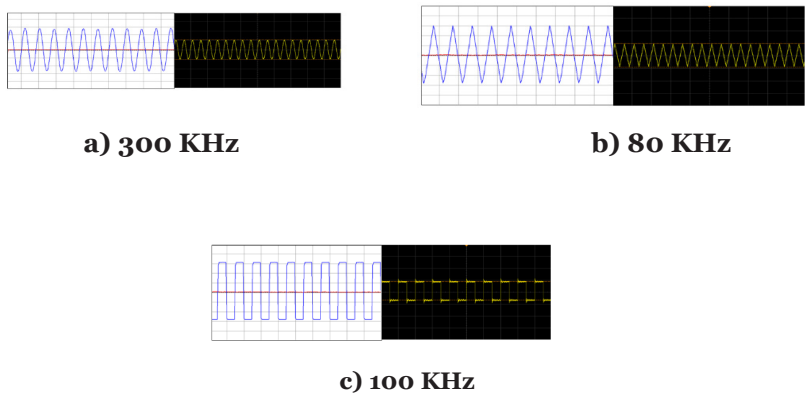


Figura 7 – Formas de onda medidas a diferentes frecuencias

Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 1. El error relativo de las mediciones de la señal de salida es cero, por lo que el osciloscopio tiene la ventaja de alta resolución de frecuencia y alta precisión. Para el canal de CA. se obtuvo el mismo valor de error relativo de cero en cada una de las mediciones de frecuencia.

Fr/Hz	Formas de onda					
	Sinusoidal		Cuadrada		Triangular	
	Fr/Hz	Error/%	Fr /Hz	Error /%	Fr/Hz	Error /%
1	1	0	1	0	1	0
50	50	0	50	0	50	0
100K	100K	0	100K	0	100K	0
300K	300K	0	300K	0	300K	0
500K	500K	0	500K	0	500K	0

Tabla 1 – Test de medición a diversas frecuencias

El osciloscopio mide señales cuya amplitud varía entre (0 - 6)Vpp y la resolución del voltaje es de 0,1 voltios. Para determinar el error relativo la señal de salida, se fijó a 100 KHz y se varió gradualmente el valor del voltaje pico-pico. Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 2. El error relativo porcentual de la señal aumenta de 0.16% a 4%, dando como resultado que al aumentar el valor del voltaje pico-pico el error es menor y

al disminuir el voltaje el error es mayor, como resultado los datos obtenidos están dentro de los límites considerados aceptables.

Vpp/V	Formas de onda					
	Sinusoidal		Cuadrada		Triangular	
	Vpp/V	Error/%	Vpp/V	Error /%	Vpp/V	Error /%
0.5	0.48	4	0.49	2	0.49	2
1	0.99	1	0.98	2	0.99	1
2	1.99	0.5	1.99	0.5	1.99	0.5
4	3.98	0.5	3.99	0.25	3.98	0.5
6	5.98	0.33	5.99	0.16	5.99	0.16

Tabla 2 – Test de amplitud

4.2. Test generador de ondas

Se generó desde el módulo las tres formas de onda que tienen un rango de frecuencia de salida de 1Hz a 5 KHz. El voltaje de salida es de 3.3v fijo dada por la tarjeta de aplicación. La Fig. 8 muestra las ondas medidas en el equipo Agilent DSO-X 2014^a a diferentes frecuencias.

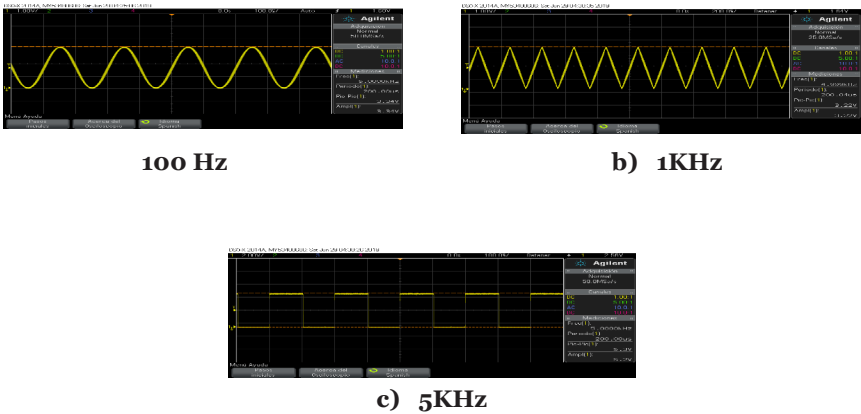


Figura 8 – Formas de onda medidas con el equipo Agilent DSO-X 2014^a

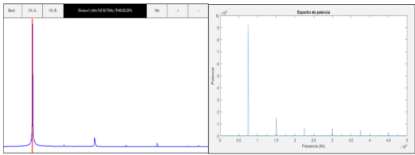
Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 3. El error relativo de las mediciones de la señal de salida es cero, el generador de ondas tiene la ventaja de alta resolución de frecuencia y alta precisión para sus dos canales.

Módulo Fr/Hz	Formas de onda medidas (DSO-X 2014 ^a)					
	Sinusoidal		Cuadrada		Triangular	
	Fr/Hz	Error/%	Fr /Hz	Error /%	Fr/Hz	Error /%
10	10	0	10	0	10	0
100	100	0	100	0	100	0
500	500	0	500	0	500	0
1K	1K	0	1K	0	1K	0
5K	5K	0	5K	0	5K	0

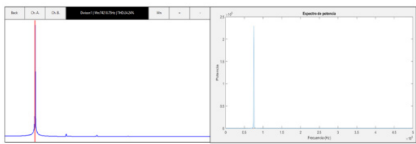
Tabla 3 – Test de medición a diversas frecuencias

4.3.Test analizador de espectro de frecuencia

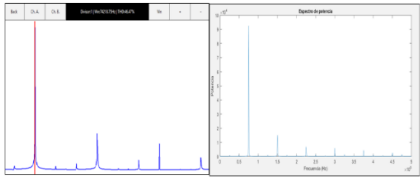
Se desarrolló una aplicación en el software Matlab R2018b, para visualizar los armónicos y el %THD a diferentes frecuencias. Las ondas de prueba se generaron desde el equipo Agilent 33500B, variando gradualmente la frecuencia en un rango 1Hz a 500 KHz, para determinar el error relativo porcentual en cada señal de salida. La Fig. 9 muestra los armónicos obtenidos a diferentes frecuencias y a diferentes formas de onda; obtenidas con el sistema didáctico y con la aplicación desarrollada.



a) Señal sinusoidal a 75 KHz



b) Señal triangular a 75 KHz



c) Señal cuadrada a 75 KHz

Figura 9 – Visualización de los armónicos en diferentes formas de onda

El análisis se realizó generando una señal cuadrada con diferentes valores de frecuencia (Tabla 4). El error relativo de las mediciones de la señal de salida presentó una resolución que no superó el 0.2%. Para las señal sinusoidal y triangular se obtuvieron resultados similares a los presentados, por lo que el equipo presenta una alta resolución y alta precisión para sus dos canales.

Agilent 33500B Fr/Hz	Forma de onda		
	Sinusoidal		
	%THD Matlab R2018b	%THD Módulo	%Error
1K	26.11	26.66	2.12
5K	22.77	22.91	0.61
75K	26.30	26.40	0.38
100K	36.10	36.28	0.50

Tabla 4 – Test de medición del %THD a diversas frecuencias

4.4. Usabilidad del sistema

Para determinar la eficiencia de la usabilidad del módulo didáctico se utilizó el método de escala de usabilidad del sistema SUS, se utilizó un conjunto de diez preguntas Tabla 5, basados en los ítems de (Sauro & Lewis, 2011), se tomaron al azar 10 personas de la facultad de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, el grupo de estudiantes estaba conformado por 3 mujeres y 2 hombres entre los 20 y 25 años y el grupo de profesionales estaba conformado por 4 hombres y una mujer entre los 30 y 45 años. Los rangos de ponderación van del uno al cinco, con desacuerdo total y acuerdo completo, respectivamente.

Preguntas	
1	Creo que me gustaría utilizar este sistema frecuentemente?
2	Encontré este sistema innecesariamente complejo?
3	Considero que este sistema es fácil de usar?
4	Creo que necesitaría soporte técnico para poder usar este sistema?
5	Las funciones de este sistema están correctamente integradas?
6	Encontré fallas en este sistema?
7	Creo que el sistema es de gran ayuda para estudiantes y profesionales?
8	Considero que este sistema es muy difícil de usar?
9	He encontrado que el sistema es seguro de usar?
10	Necesité conocer información extra para poder usar el sistema?

Tabla 5 – Preguntas para evaluar la usabilidad del sistema

Después de aplicar el SUS se tiene los siguientes resultados (Tabla 6).

Pregunta	Ing. 1	Ing. 2	Ing. 3	Ing. 4	Ing. 5	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5
1	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5
2	1	4	2	3	1	1	1	2	2	1
3	5	5	4	5	4	5	4	5	5	4
4	1	2	3	1	2	1	2	1	1	1
5	4	5	4	4	4	5	5	4	5	4
6	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2
7	5	5	4	4	4	5	5	5	4	5
8	1	2	2	2	1	1	1	1	3	1
9	4	5	5	4	5	4	5	5	4	5
10	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1
Valor SUS	90	80	80	83	85	95	90	90	83	93
Promedio SUS	87									

Tabla 6 – Tabulación del SUS

En consecuencia, el resultado promedio del SUS es del 87%, que indica que el sistema es fácil de utilizar, los resultados experimentales demuestran la viabilidad y la facilidad de uso del módulo didáctico, con interfaces gráficas amigables con el usuario, que brinda los mismos beneficios que los instrumentos tradicionales, además de reducir el costo y brindar mayor facilidad en el transporte y su manejo.

6. Conclusiones

El módulo didáctico basado en tecnologías de bajo costo, es de gran utilidad en aplicaciones donde se requiera medir, y generar señales con alta precisión y alta estabilidad. El sistema puede ser utilizado en el campo de la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, pruebas de comunicación, entre otras.

Se logró aprovechar al máximo las características técnicas de las tarjetas de aplicación seleccionadas, para mejorar la visualización de señales a altas frecuencias, en el osciloscopio se colocó un selector mediante software; para cambiar la interpolación lineal a interpolación sinusoidal, con el fin de mejorar la experiencia del usuario cuando realice pruebas técnicas. En la sección del generador de señales se realizó una etapa de filtrado para CC. y CA. para eliminar frecuencias parásitas y ruidos externos mediante hardware, dando como resultado señales limpias de gran precisión hasta los 5 KHz. Finalmente en el analizador de espectro de frecuencia se utilizó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para determinar los armónicos de la W_n hasta los 500KHz con el valor

del %THD correspondiente. Al comparar el módulo con los equipos comerciales éste presentó las siguientes ventajas, es fácil de transportar por su tamaño compacto, es flexible, costos de adquisición bajos, fácil de configurar y fácil de utilizar.

Referencias

- Chen, A., & Liu, J. (2009). USB-based portable outdoor multi-function tester design. *2009 Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications (PACIIA)*, 464-467.
- Denisov, H. A. A. (2010). History of oscilloscope development in Lithuania and neighbor countries. *11-th INTERNATIONAL RADAR SYMPOSIUM*, 1-2.
- Diz, J. (2012). Open source and low cost virtual instrumentation system for teaching of electronics in technical education. *Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEET)*, 112-116.
- Goldemberg, C., Pellini, E. L., Kaiser, W., & Komatsu, W. (2009). A Python based power electronics E-learning tool. *2009 Brazilian Power Electronics Conference*, 1088-1092.
- Guo, Z. et al., (2013). CVIS: Complex virtual instruments system architecture. *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 566-571.
- Hadi, M., Widodo, R. T., & Alasiry, A. H. (2016). Implementation of FPGA technology as human-machine interface to Z80 microprocessor learning module. *2016 International Electronics Symposium (IES)*, 180-184.
- Jin, W. & Li, F. (2010). Study on laser diffraction measurement uncertainty comparing traditional and statistical method with virtual instrument. *2010 International Conference On Computer Design and Applications*, 468- 471.
- Lemos, M. A., Brunini, D. M., Botura, G., Marques, M. A., & Rosa, L. C. (2011). Virtual instrumentation: A practical approach to control and supervision process. *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology*, 2570-2573.
- Lojka, T., Štáala, P., Mocnej, J. & Zolotová, I. (2015). Web technologies in industry HMI. *2015 IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, 103-106.
- Ludwiczak, L., Rozek, J., & Pochmara, J. (2008). HMI solution for controlling dynamic process with FPGA. *2008 15th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, 567-570.
- Park, H., Park, J., Kim, K., Kim, K., & Wang, G. (2015). An efficient generation mechanism of HMI information for heterogeneous PLCs. *2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, 46-48.

- Sauro, J., & Lewis, J.R. (2011). When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive?. *Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2215–2224.
- Singh, H. V. P., & Mahmoud, Q. H. (2017). HMI-guard: A platform for detecting errors in human-machine interfaces. *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2861-2866.
- Singh, H. V. P., & Mahmoud, Q. H. (2017). ViDAQ: A Framework for Monitoring Human Machine Interfaces. *2017 IEEE 20th International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 141-149.
- Sreenivasan, R., & Jayarani, E. (2015). Wireless Oscilloscope using Android App for Mobile. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 8(2), 26-30.
- Sridharan, R., Sivasubramaniam, R. & Vishwanath, R. G. (2013). Portable — Standalone virtual instruments. *2013 Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE)*, 1-5.
- Valentina, R., Ruppert, M., Nenninger, P., & Mendoza, F. (2013). Human machine interface for Virtual Prototyping of Industrial Instruments. *2013 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 270-275.
- Winiecki, W. (2006). Methodology of virtual instrument time analysis. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(1), 21-25.
- Zhang, C., & Wang, H. (2015). Monitoring of power grid main parameters based on virtual instrument. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, 5875-5879.
- Zhao, Z., Wang, L., Chen, J., Cai, Z., Lv, Y., & Feng, Y. (2017). The design and implementation of signal generator based on DDS. *2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, 920-923.

Big Data em Healthcare – um Estudo Bibliométrico

Ronaldo Rodrigues Pacheco¹, Talita Rocha da Silva¹, Gabriela Franco¹, Ari Melo Mariano¹, Ana Carla Bittencourt Reis¹

ronaldo.pacheco07.rp@gmail.com, talitarocha1009@gmail.com,
francoegabriela@gmail.com, arimariano@unb.br, anacarlabr@yahoo.com.br

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Pages: 739–751

Resumo: O interesse pelo tema Big Data no ambiente de saúde vem crescendo na literatura. Compreender as principais abordagens teóricas, *fronts* de pesquisa, desafios e vantagens relacionados a esta temática torna-se importante. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar o estado da arte acerca do Big Data no contexto de Healthcare. Trata-se de um estudo bibliométrico do tipo exploratório, realizado nas bases de dados Web of Science e Scopus, com espaço-temporal entre 2013 a 2019. Por meio das análises de *co-occurrence*, *co-citation* e *coupling*, foi possível identificar que a temática de estudo está centrada em torno de termos como: *big data analytics*, *mapreduce*, *machine learning* e *predictive analytics*. Os principais estudos encontrados apresentam os desafios relacionados a questões de privacidade e segurança dos dados, além de apresentarem as principais vantagens que as tecnologias de Big Data podem oferecer ao setor de saúde, como assistência médica personalizada e elaboração de modelos preditivos.

Palavras-chave: *Big Data*; *Healthcare*; Sistemas de Informação; tomada de decisão; Análises.

Big Data in Healthcare - A Bibliometric Study

Abstract: Interest in Big Data in healthcare has been growing in contemporary literature. Understanding key theoretical approaches, research fronts, challenges and advantages related to this theme becomes important for scientific environment. The aim of this study is to present the state of the art about Big Data in the context of Healthcare. This is an exploratory bibliometric study, conducted in the Web of Science and Scopus databases, with time-space from 2013 to 2019. Through co-occurrence, co-citation and coupling analysis, it was possible to identify that the theme is centered in terms such big data analysis, mapreduce, machine learning, predictive analysis, security, risk and privacy, management. The key studies founded present the challenges related to privacy and data security issues, and show the key advantages that Big Data technologies can offer in healthcare sector, such as personalized healthcare and predictive modeling.

Keywords: Big Data; Healthcare; Information Systems; Decision Making; Analysis.

1. Introdução

Os processos de tomada de decisão passam por transformações ao longo dos anos. Enquanto as decisões baseadas na Técnica de Procedimento são eficientes para problemas que surgem de forma rotineira, já não são tão boas quando se deseja obter predições sobre o que ainda não é conhecido. As decisões baseadas na Experiência, apesar de ágeis, podem ser inválidas devido às crescentes mudanças tecnológicas e instabilidades de cenários. As Decisões Analíticas superam os limites impostos pelas decisões mencionadas. No entanto, demandam tempo e tratamento de uma grande quantidade de informações.

O cenário atual, caracterizado por transformações recrudescentes decorrente da nova era digital e do advento da Indústria 4.0, promete alterar a forma pela qual as organizações operam. Neste contexto, o universo de dados tem se expandido e ganhado enorme espaço, tornando-se imprescindível para uma atuação estratégica em meio a mercados dinâmicos como os atuais. Este fato é evidenciado ao observar que a grande maioria das instituições que apontam no mercado a nível mundial, como Amazon, Google, dentre outras, lidam diariamente com grandes volumes de dados.

Desse modo, transformar a grande quantidade de dados disponíveis em informações e conhecimento e prover rapidez e eficiência nos processos de tomada de decisão passam a ser um dos grandes desafios para todas as organizações.

Da Xu, He e Li (2014) considera o *Big Data* uma das mais complexas e principais tecnologias da atualidade, juntamente com sistemas corporativos, Internet of Things (IoT), computação em nuvem, robótica avançada e inteligência artificial. Neste novo cenário caracterizado como a “nova era digital”, as novas tecnologias ganharam visibilidade e expansão por todos os setores, dentre eles o da saúde.

O *Big Data* pode ser conceituado como um grande e complexo conjunto de dados que demandam tecnologias de armazenamento, gerenciamento, análise e visualização avançadas Chen, Chiang e Storey (2012).

Dentre as principais características usadas para descrever esse fenômeno, pode-se citar o volume, a velocidade e a variedade. O volume refere-se a grande quantidade de dados gerados por segundo, que por meio de tecnologias de *Big Data* podem ser armazenados e processados. A velocidade diz respeito ao ritmo exponencial com que os dados são gerados e movimentados. A variedade compreende os diferentes tipos de dados que podem ser gerados: estruturados, semiestruturados e não estruturados Chen, Chiang e Storey (2012).

A partir das características supracitadas, o autor aponta que o *Big Data* vem sendo fortemente aplicado no setor de saúde, que demanda cada vez mais capacidade de armazenamento e processamento do grande e complexo volume de dados que é gerado diariamente.

Diante da vasta literatura contemporânea, nota-se o surgimento dos primeiros estudos dedicados à compreensão dessa temática no contexto de saúde a partir do ano de 2013. Certamente, a consolidação desses achados traz um grande benefício para a ciência.

Assim, este estudo propõe uma profunda investigação a respeito dessa temática, com intuito de buscar responder os questionamentos: Quais são as principais abordagens

de *Big Data* em Healthcare? Quais são os principais benefícios e desafios com essa integração? Quais são as principais frentes de pesquisa sobre o tema?

Em face disso, o objetivo deste artigo é apresentar o estado da arte acerca da temática de *Big Data* no ambiente de saúde a fim de sintetizar os principais achados, por meio de um estudo bibliométrico, utilizando a Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado – TEMAC, de Mariano e Rocha (2017).

Este artigo está disposto em quatro seções. A presente seção apresenta uma breve introdução do artigo. Na seção 2 é apresentada a metodologia da pesquisa. Em seguida, na seção 3 são descritos os resultados e análises da pesquisa bibliométrica e, por fim, a seção 4 apresenta as conclusões do estudo.

2. Metodologia da pesquisa

Nesta seção são apresentados os métodos e a estruturação utilizados no estudo para o alcance dos objetivos. Este é um estudo bibliométrico do tipo exploratório, que, por meio de uma abordagem qualitativa, busca compreender as principais temáticas sobre *Big Data* no contexto de Healthcare. A estratégia de pesquisa é classificada como revisão sistemática da literatura, pois foram coletados e analisados metadados de duas bases de dados a fim de consolidar os principais estudos sobre o objeto de estudo.

Como procedimento metodológico, utilizou-se uma adaptação do TEMAC, de Mariano e Rocha (2017), que compreende três etapas: 1. Preparação da pesquisa, 2. Apresentação e inter-relação dos dados, e 3. Detalhamento e modelo integrador por meio da aplicação de análises bibliométricas. Os autores consideram essas etapas essenciais para obtenção de uma cobertura global sobre um tema, além de identificar e sintetizar os principais achados.

Etapla 1. Na preparação da pesquisa deve-se responder a quatro perguntas iniciais para direcionar as buscas: Quais as bases de dados serão utilizadas? Quais os termos ou palavras-chave da pesquisa? Quais as áreas de conhecimento serão utilizadas? E qual a cobertura do espaço-temporal da pesquisa?

A *Web of Science* (WoS) foi definida como a base principal deste estudo, por ser reconhecida internacionalmente como uma das mais completas e confiáveis. Além desta, foi utilizada a base *Scopus* por ela ser multilíngue e apresentar uma cobertura maior que a primeira (Zupic e Cater, 2015).

Foram definidos dois termos de buscas. Inicialmente, realizaram-se buscas preliminares apenas na base *Web of Science* com o termo “*Big Data*”, a fim de obter uma visão ampla sobre o tema. Os registros obtidos foram analisados quanto à evolução do quantitativo de publicações ao longo dos anos.

No segundo momento, buscou-se nas bases *Web of Science* e *Scopus* pelos termos “*Big Data*” e (“*Healthcare*” ou “*Health Care*”), a fim de delimitar o objeto de estudo apenas para artigos de *Big Data* relacionados ao contexto de Healthcare.

Não houve delimitação quanto às áreas de pesquisa, por considerar que o termo “*Healthcare*” já direciona os resultados ao contexto pretendido. Por outro lado, o campo de busca foi selecionado de modo a retornar apenas artigos que contemplassem a integração dos termos de busca no título.

A pesquisa foi realizada no período de 01/09/2019 a 05/09/2019, com espaço temporal delimitado entre 2013 a 2019, visto que 2013 é o ano que apresenta o registro mais antigo sobre a integração dos temas. Os registros duplicados encontrados nas bases foram excluídos.

Etapa 2. Nesta etapa realizou-se a inter-relação dos dados buscando obter uma cobertura a nível global sobre o tema conforme as leis da bibliometria. Buscou-se encontrar as maiores representatividades (elite) sobre o tema, de acordo com as Leis do Elitismo e do 80/20. E, com base na Lei de Lotka, buscou-se identificar o pequeno grupo de autores, países e organizações que mais abordam sobre o tema (Mariano e Rocha, 2017).

Etapa 3. Nesta etapa realizaram-se as análises bibliométricas de *co-occurrence* (co-word), *co-citation*, e *bibliographic coupling*, que, segundo Zupic e Cater (2015), são utilizados para mapear a ciência e complementar as revisões qualitativas ao introduzir uma medida de objetividade. Além disso, os autores afirmam que essas análises contribuem para aumentar o rigor e mitigar o viés do pesquisador neste tipo de estudo. Para a geração dos mapas de calor, utilizou-se o software VOSviewer.

3. Resultados da pesquisa sobre *Big Data* no contexto Healthcare

Nesta seção são analisados e discutidos os resultados dos dados obtidos nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* sobre o tema *Big Data* no contexto Healthcare.

3.1. Preparação da pesquisa e apresentação e inter-relação dos dados

Nas buscas realizadas na base *Web of Science* com os termos “*Big Data*”, foi retornado um total de 15.415 registros, e com “*Big Data*” e (“*Healthcare*” ou “*Health care*”), retornaram-se 326 artigos.

A Figura 1 retrata de forma visual a integração e evolução dos termos pesquisados. A temática *Big Data* apresenta o primeiro estudo no ano de 2004 e nove anos depois surge o primeiro estudo relacionado ao Healthcare.

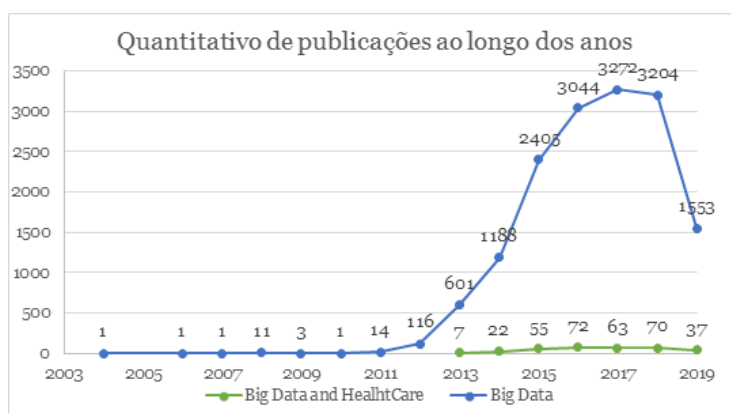


Figura 1 – Publicações sobre Big Data e Big Data em Healthcare ao longo dos anos.

Percebe-se que o número de publicações sobre Big Data apresenta um crescimento exponencial a partir de 2011, mesmo ano em que é abordado pela primeira vez o termo “Indústria 4.0” na feira de Hannover, na Alemanha, um evento de tecnologia industrial.

Em relação a *Big Data* no contexto de Healthcare, os resultados preliminares demonstram que a integração dos temas diz respeito a uma temática emergente, notado pelo fato de a cobertura de artigos dar-se em um curto espaço temporal a partir de 2013.

Visando complementar os achados da base *Web of Science* e ampliar a cobertura do estudo, pesquisou-se também na base de dados Scopus os mesmos termos já definidos: “*Big Data*” e (“*Healthcare*” ou “*Health care*”), sendo encontrados 473 artigos. A Figura 2 retrata a distribuição das publicações pelas duas bases.

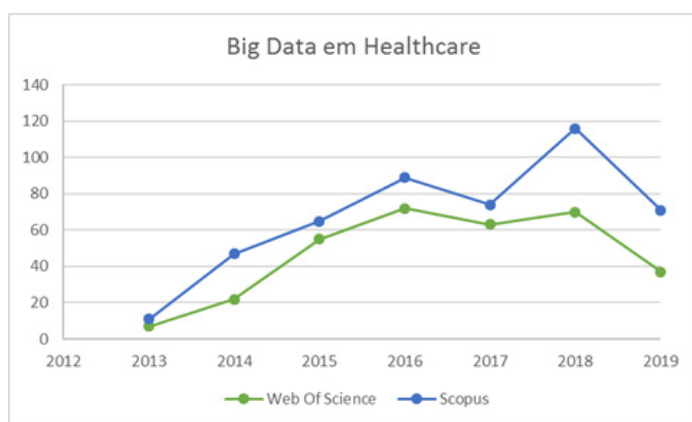


Figura 2 – Comparativo das publicações sobre o tema entre as bases de dados

Percebe-se que, apesar de retornar uma amostra relativamente pequena, em comparação com a busca apenas pelo termo “*Big Data*”, o tema demonstra estar em crescimento. Para ambas as bases, o artigo “*The inevitable application of big data to health care*” de Murdoch e Detsky (2013) é o mais citado dentre a amostra. O estudo aborda sobre a inevitável aplicação do *Big Data* e apresenta uma perspectiva futura de como a análise do *Big Data* pode melhorar a qualidade geral dos sistemas de saúde, pautando sobre os desafios e oportunidades.

Em relação às áreas de conhecimento sobre o tema, as bases pesquisadas divergem quanto às definições e quanto ao número de publicações. Segundo os resultados da WoS, as áreas que apresentam maior quantitativo de publicações sobre o tema são: Ciência da Computação (*Computer Science*), com 167, Engenharia (*Engineering*), com 84, e Serviços de Ciência da Saúde (*Health Care Sciences Services*), com 42.

Na base Scopus, a área da Ciência da Computação também é a que mais publica sobre o tema, com 265 publicações, seguida das áreas de Medicina e Engenharia, com 151 e 149 publicações, respectivamente.

Identificadas as principais áreas, o próximo passo consistiu em elencar os países que mais abordam sobre essa temática. Esta é uma etapa essencial para compreensão de um determinado campo de estudo, ao considerar que a produção científica internacional tem por objetivo principal a produção e disseminação de novos conhecimentos.

Para a base de dados Scopus, a Índia apresenta-se como o país que mais publica sobre o tema, seguida dos EUA. Na WoS, estes países alternam as posições, conforme evidenciado na Figura 3.

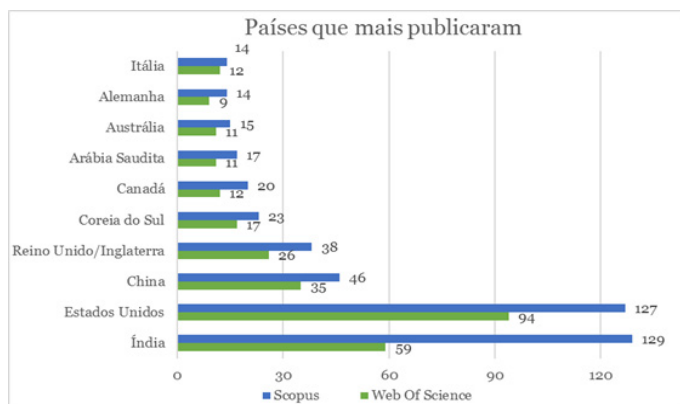


Figura 3 – Países que mais publicaram

Vale ressaltar que, na primeira busca na WoS (realizada com a palavra-chave “*Big Data*”), a China apresentou-se como o país que mais publicou, com um total de 4.506 publicações, equivalente a aproximadamente 30% do total. Seguida dela, apareceram Estados Unidos (4.197) e Índia (1.056). Após o refinamento da busca, a China caiu para terceira colocação, o que pode indicar maior incentivo à pesquisa sobre o tema nos dois países melhor colocados.

Em relação aos autores que mais publicaram sobre o tema, surgem Wang Yichuan, com 7 artigos, seguido de Chen Min e Hossain M. Shamin, ambos com 5 artigos. Já os veículos que mais publicaram sobre o tema foram *IEEE ACCESS*, com 11 documentos (247 citações), seguido de *Health Affairs* (406 citações) e *Healthcare Informatics Research* (106 citações), ambas com 5 publicações.

3.2. Detalhamento da pesquisa por meio de Análises bibliométricas

a. Análises Co-occurrence

Com intuito de representar a estrutura conceitual sobre o tema estudado, realizou-se a análise de *co-occurrence*, a qual consiste em uma técnica de análise de conteúdo que utiliza as palavras-chave de maior ocorrência em documentos para construir rede de temas e suas relações.

Zupic e Cater (2015) afirmam que enquanto as análises de citações, co-citação e acoplamento bibliográfico conectam documentos indiretamente através de citações, a análise de *co-occurrence* usa o conteúdo real dos documentos para construir uma medida de similaridade. A ideia subjacente ao método é que as palavras mais citadas conjuntamente estão intimamente relacionadas.

A Figura 4 retrata de forma visual a estrutura conceitual em torno da temática de *Big Data* no contexto de Healthcare, considerando palavras-chave e títulos dos 473 documentos coletados na base Scopus, que foram extraídos e exportados para o software *VOSviewer* para geração do mapa de calor.



Figura 4 – Mapa de calor por palavras-chave. Dados extraídos da Scopus

Dentre os termos, destaca-se sobretudo *big data analytics*. O termo consiste, em sua essência, na extração de conhecimentos a partir de dados, o que tem sido cada vez mais comum em ferramentas de *Business Intelligence* (BI). Este, por sua vez, trata-se de um termo abrangente destinado à cobertura de atividades necessárias para que uma organização transforme dados brutos em conhecimento acionável. Ademais, nessa mesma linha, aparecem os termos *data mining* (mineração de dados), *hadoop*, *mapreduce* e *predictive analytics* (análise preditiva).

A análise preditiva traz abordagens geralmente empregadas ao uso de modelos que buscam prever eventos futuros ou prever valores para atributos. Esta análise geralmente está relacionada a *Machine Learning*, que consiste basicamente em treinar algoritmos a utilizarem a inteligência para resolver problemas de forma automatizada. Este último é conhecido como inteligência artificial, um dos grandes fenômenos da atualidade.

Também depreende-se do mapa de calor os termos *risk*, *privacy*, *architecture*, *system*, *model*, *classification*, *innovation*. Todos estão diretamente relacionados aos grandes volumes de dados que precisam ser armazenados, processados, gerenciados e

transformados em conhecimentos de forma que possam ser úteis no processo de tomada de decisão.

b. Análises Co-citation

De acordo com Zupic e Cater (2015), sintetizar os achados históricos é uma das mais importantes tarefas para conseguir avançar em uma linha de pesquisa específica. Dentre os inúmeros métodos existentes para alcançar esse objetivo, os autores destacam a análise de *co-citation*, pois permite que os trabalhos mais citados conjuntamente pela amostra coletada sejam identificados.

Assim, com os metadados dos 326 artigos publicados na base *Web of Science* entre os anos de 2013 a 2019, foi gerada uma rede de *co-citation* do tipo *Network visualization* (visualização de rede), conforme o gráfico da Figura 5. Foram considerados apenas artigos citados pelo menos 10 vezes pela amostra.

Para análise dessa rede, a cor do item indica o cluster ao qual o item pertence. O vermelho indica o maior número de trabalhos, seguido do verde, azul e, em alguns casos, do amarelo, que contempla a menor quantidade. O pertencimento a um mesmo cluster indica um alto índice de similaridade. Dessa forma, o número de linhas entre os itens e suas distâncias expressam o nível de suas relações. O diâmetro dos nós e o tamanho da fonte expressam características de maior influência do artigo.

A partir do gráfico, percebe-se a formação de três *clusters*. Apesar do nome de alguns itens estarem ocultos, o software Vosviewer permite sua correta identificação. Dentre os artigos do cluster 1 (vermelho) pode-se citar: Chen, Chiang e Storey (2012), Chawla e Davis (2013), Bates, Saria, Ohno-Machado, Shah e Escobar (2014), Chen, Mao e Liu (2014), Costa (2014), Ward (2014), Andreu-Perez, Poon, Merrifield, Wong e Yang (2015) e Gandomi e Haider (2015). O cluster 2 (verde) contempla os estudos de: Srinivasan e Arunamasalam (2013), Roski, Bo-Linn e Andrews (2014), Archenaa e Anita (2015), Wang, Kung e Byrd (2018) e Belle et al. (2015). Por fim, no cluster 3 (azul) aparecem os estudos de Dean e Ghemawat (2004), Manyika et al. (2011), Groves, Kayyali, Knott e Van Kuiken (2013), Murdoch e Detsky (2013) e Raghupathi e Raghupathi (2014).

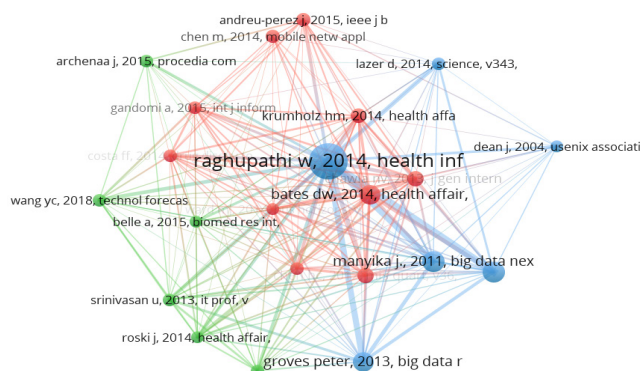


Figura 5 – Rede de Co-Citation. Dados extraído da base de dados WoS

Considerando que nenhum método substitui a análise do pesquisador, foram explorados alguns artigos de cada cluster a fim de obter conclusões mais assertivas e robustas sobre o tema.

No cluster 1, o estudo de Chen, Chiang e Storey (2012) fornece uma estrutura que identifica a evolução, aplicações e áreas emergentes de pesquisa de Business Intelligence & Analytics e destaca suas aplicações importantes na área da saúde. O estudo de Chawla e Davis (2013) trata a respeito da personalização da assistência à saúde, frente a um cenário de custos insustentáveis e enormes quantidades de dados subutilizados.

Ainda neste cluster, Bates et al. (2014) aborda sobre as diversas oportunidades de uso de *Big Data* para redução dos custos dos serviços de saúde nos Estados Unidos e discute as análises e implicações associadas a seu uso. Depreende-se deste cluster, portanto, uma abordagem voltada à redução de custos nos serviços de assistência à saúde, por meio do uso de *Big Data*.

Do cluster 2 pode-se citar o estudo Roski, Bo-Linn e Andrews (2014), que aborda o grande potencial que o *Big Data* tem para criar valor na área de saúde, destacando-se também implicações políticas e mudanças associadas ao uso, acesso, compartilhamento, privacidade e administração de dados. Também pode-se citar o estudo de Belle et al. (2015), que discute os principais desafios da aplicação do *Big Data* nos serviços de saúde.

De maneira geral, a abordagem trazida pelo segundo cluster é voltada aos grandes desafios em face à aplicação do *Big Data* no contexto de saúde e seus diversos paradigmas.

O cluster 3 é representado por estudos como o de Manyika et al. (2011), que traz uma perspectiva relacionada às mudanças decorrentes de um cenário no qual a captura e a análise de grandes volumes de dados é colocada em destaque por grandes empresas. Também faz parte do cluster o estudo de Groves et al. (2013), que aborda a respeito de um guia referência sobre o conteúdo mínimo para o protocolo de ensaio clínico.

Ainda neste cluster, destaca-se o estudo de Murdoch e Detsky (2013), que fala sobre a inevitável aplicação do *Big Data* em Healthcare, de modo a contribuir para a qualidade e eficiência dos serviços prestados na área de saúde. E, por fim, o estudo de Raghupathi e Raghupathi (2014), que aparenta ser o mais influente por apresentar fortes interações com os demais clusters. Este descreve o campo emergente do *Big Data* na área da saúde, discutindo sobre seu grande potencial e desafios a serem superados.

Para este cluster, portanto, observa-se a abordagem voltada ao potencial de transformação, propiciada pela análise de *Big Data*, da maneira como os provedores de assistência usam as tecnologias para obtenção de dados e tomada de decisão, frente aos desafios como: privacidade, segurança e governança.

c. Análises de Coupling

Enquanto a *co-citation* traz uma perspectiva de abordagens voltadas para o passado, a análise de *coupling* permite identificar as principais frentes de pesquisas que estão sendo abordadas atualmente Cobo, López-Herrera, Herrera-Viedma e Herrera (2012). Dessa forma, para uma compreensão visual da integração entre os países que mais publicam, realizou-se uma análise de *coupling*, selecionando a unidade countries (continentes), conforme retrata a Figura 6.

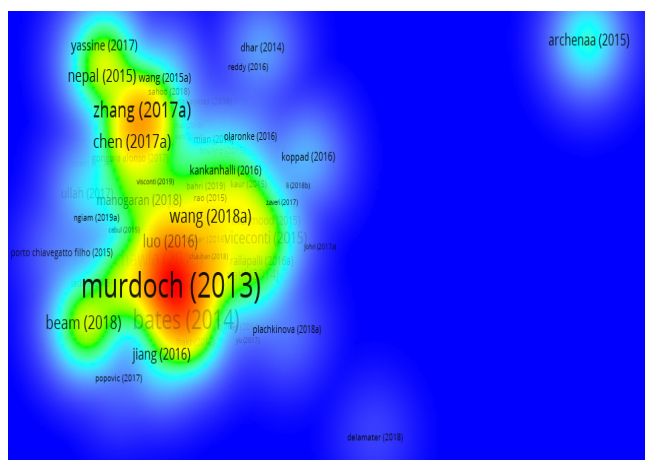


Figura 6 – Mapa de *coupling*. Dados extraídos da *Web of Science*

Percebe-se que o artigo de Murdoch e Detsky (2013), já mencionado anteriormente, como o mais antigo e o mais citado nas bases de dados pesquisadas, aparece como o mais influente nesta análise. De acordo com o autor, os sistemas atuais recebem grande volume de informações e, com isso, surge a necessidade de estruturar e organizar os dados. Através disso, é possível coletar informações sobre os perfis dos pacientes, expandir a capacidade de gerar novos conhecimentos e manter os médicos atualizados através das sugestões extraídas das análises em tempo real.

Já Bates et al. (2014) menciona que uma das táticas que as organizações vai implantar é o uso mais eficaz da análise preditiva. Isso envolverá a vinculação de dados de várias fontes e, para isso, exigirá a adoção de padrões, e levantará questões de privacidade e ética, além de exigir novas formas de preservar a privacidade.

Beam e Kohane (2018) e Bates et al. (2014) mencionam a análise preditiva como ferramenta para *insights* e previsões, o que contribui para o preenchimento de várias lacunas no sistema de saúde. Beam e Kohane (2018) faz associações entre *Machine Learning e Big Data*. Segundo o autor, para entender o grau de um algoritmo preditivo ou até mesmo um diagnóstico, é necessário entender o quanto sua estrutura ou parâmetros foram predeterminados pelos humanos.

Luo, Wu, Gopukumar e Zhao (2016) conceitua que o uso de aplicativos em *Big Data* entram como oportunidades para descobertas de novos conhecimentos, além da criação de métodos para melhorar a qualidade dos cuidados da saúde. Relata também que, mesmo sendo uma promessa significativa, apresenta problemas na parte de integração de bancos de dados, padronização, segurança e privacidade dos usuários.

O estudo de Zang, Qiu, Tsai e Hassan (2017) fornece informações de serviços e ambientes de saúde mais convenientes, através de uma abordagem cyber-física centrada para sistema de aplicativos e serviços de saúde voltados para o paciente, chamados *Health – CPS*, desenvolvido com base em tecnologias de análise de nuvem e *Big Data*.

Através da análise de 26 casos de implementação na área da saúde, Wang, Kung e Byrd (2018) encontrou cinco recursos para ajudar as organizações de assistência à saúde a entender o uso de *Big Data*, além de mostrar os benefícios para as instituições. Através da pesquisa foram encontrados os seguintes resultados: capacidade analítica para padrões de atendimento, capacidade analítica de dados não estruturados, capacidade de suporte a decisões, capacidade preditiva e rastreabilidade.

Por fim, de forma mais isolada, revela-se o artigo da Archenaa e Anita (2015), que discorre sobre o valor adicional a partir dos dados gerados entre a área da saúde e o governo. O *Big Data Analytics* juntamente com a metodologia *Hadoop*, por meio do grande volume de dados disponível, permite às organizações a realização de análises em tempo real, além da proposição de modelos preditivos para cenários futuros.

4. Conclusões

O objetivo do estudo foi alcançado a partir da apresentação do estado da arte acerca da temática de Big Data no contexto de Healthcare. Os artigos apresentaram relevância significativa, apontando um campo teórico emergente, que apresenta tendência de crescimento, notavelmente após 2013.

Dentre as áreas do conhecimento que mais abordam sobre o tema, destacam-se Ciência da Computação, Engenharia e Medicina. A Índia e os EUA apontam como países com maior número de publicações.

Por meio da análise de *co-occurrence* foi possível identificar que a estrutura conceitual sobre a temática está centrada em torno de termos, como: *big data analytics*, *data mining*, *hadoop*, *mapreduce*, *machine learning* e *predictive analytics*. Estes termos estão fortemente relacionados à mineração de dados e análises preditivas por meio da aplicação de ferramentas de BI.

A estrutura conceitual compreende ainda termos como *security*, *risk*, *privacy*, *management*, apontando que o objeto de estudo está fortemente ligado com a questão de gerenciamento de dados e riscos e privacidade.

As análises de *co-citation* e *coupling* apontam que os principais artigos encontrados concentraram-se no estudo sobre os desafios e vantagens das tecnologias de ponta para as organizações de saúde.

Alguns estudos tratam a respeito dos desafios relacionados à temática em questão, tais como: a privacidade dos dados, uma vez que a plataforma de armazenamento passa a ser a nuvem, o risco e a falta de profissionais qualificados para tratamento dos dados e a falta de investimento em arquiteturas e tecnologias de ponta.

Em se tratando de vantagens, ficou notória a grande importância da análise de dados neste contexto, visto o grande benefício que o Big Data pode oferecer para o processo de tomada de decisão e resolução de problemas.

Pode-se citar a personalização da assistência à saúde como uma das inúmeras vantagens da aplicação do Big Data no setor de saúde. Também depreende-se da análise a possibilidade de redução de custos em serviços e tratamento de pacientes de alto

risco e a capacidade de realização de análises preditivas por meio do uso de máquinas inteligentes.

Os resultados apontam também que a aplicação do *Big Data Analytics* em conjunto com ferramentas de BI permite a realização de análises em tempo real e elaboração de modelos preditivos, resultando em forte influência para a área da saúde.

Referências

- Andreu-Perez, J., Poon, C. C., Merrifield, R. D., Wong, S. T., & Yang, G. Z. (2015). Big data for health. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(4), 1193-1208.
- Archana, J., & Anita, E. M. (2015). A survey of big data analytics in Healthcare and government. *Procedia Computer Science*, 50, 408-413.
- Bates, D. W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A., & Escobar, G. (2014). Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Affairs*, 33(7), 1123-1131.
- Beam, A. L., & Kohane, I. S. (2018). Big data and machine learning in health care. *Jama*, 319(13), 1317-1318.
- Belle, A., Thiagarajan, R., Soroushmehr, S. M., Navidi, F., Beard, D. A., & Najarian, K. (2015). Big data analytics in healthcare. *BioMed research international*, 2015.
- Chawla, N. V., & Davis, D. A. (2013). Bringing big data to personalized Healthcare: a patient-centered framework. *Journal of general internal medicine*, 28(3), 660-665.
- Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS quarterly*, 36(4).
- Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile networks and applications*, 19(2), 171-209.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630.
- Costa, F. F. (2014). Big data in biomedicine. *Drug discovery today*, 19(4), 433-440.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4), 2233-2243.
- Dean, J., & Ghemawat, S. (2008). MapReduce: simplified data processing on large clusters. *Communications of the ACM*, 51(1), 107-113.
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International journal of information management*, 35(2), 137-144.
- Groves, P., Kayyali, B., Knott, D., & Van Kuiken, S. (2013). The Big Data revolution in healthcare Accelerating value and innovation. In McKinsey & Company.

- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011, May). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity [Web page]. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- Luo, J., Wu, M., Gopukumar, D., & Zhao, Y. (2016). Big data application in biomedical research and health care: a literature review. *Biomedical informatics insights*, 8, Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS quarterly*, 36(4).
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011, May). Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity [Web page]. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- Mariano, A. M., & Rocha, M. S. (2017). Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. In *XXVI Congreso Internacional de la Academia Europea de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM)*, Reggio Calabria (Vol. 26).
- Murdoch, T. B., & Detsky, A. S. (2013). The inevitable application of big data to health care. *Jama*, 309(13), 1351-1352.
- Raghupathi, W., & Raghupathi, V. (2014). Big data analytics in *Healthcare*: promise and potential. *Health information science and systems*, 2(1), 3.
- Roski, J., Bo-Linn, G. W., & Andrews, T. A. (2014). Creating value in health care through big data: opportunities and policy implications. *Health affairs*, 33(7), 1115-1122.
- Srinivasan, U., & Arunasalam, B. (2013). Leveraging big data analytics to reduce healthcare costs. *IT professional*, 15(6), 21-28.
- Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. A. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for *Healthcare* organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3-13.
- Ward, J. C. (2014). Oncology reimbursement in the era of personalized medicine and big data. *Journal of Oncology Practice*, 10(2), 83-86.
- Zhang, Y., Qiu, M., Tsai, C. W., Hassan, M. M., & Alamri, A. (2015). Health-CPS: Healthcare cyber-physical system assisted by cloud and big data. *IEEE Systems Journal*, 11(1), 88-95.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472.

Hacia un modelo de evaluación de la preparación de datos abiertos en instituciones de educación superior colombianas

Mariutsi Alexandra Osorio-Sanabria¹, Ferney Amaya-Fernández², Mayda Patricia González-Zabala³

mariutsi.osorio@upb.edu.co, ferney.amaya@upb.edu.co, mpgonzalez@unimagdalena.edu.co

¹ Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01 Bloque 11 Oficina 611, 050031, Medellín, Colombia.

² Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 No. 70-01 Bloque 11 Oficina 217, 050031, Medellín, Colombia.

³ Universidad del Magdalena, Carrera 32 No 22 – 08 Santa Marta D.T.C.H., 470004, Santa Marta, Colombia.

Pages: 752–765

Resumen: Los datos abiertos son una herramienta que mejora la transparencia en la administración pública, empodera a los ciudadanos, genera conocimiento e impulsa la economía. Esta investigación analiza los avances en datos abiertos en el sector de la educación superior, con el fin de identificar elementos conceptuales para diseñar un modelo de evaluación de la preparación para para Instituciones de Educación Superior (IES) colombianas. Basado en la revisión de literatura se presenta la clasificación del uso de datos abiertos en universidades. Además, se muestra el análisis de referentes de evaluación de la preparación de datos abiertos. Con base en lo anterior y en los lineamientos de datos abiertos en Colombia, se proponen y mapean los componentes, elementos y dimensiones de medición del modelo conceptual. Se concluye en la importancia que tienen los instrumentos de medición para mejorar la apertura de datos en las IES.

Palabras-clave: datos abiertos; evaluación; instituciones de educación superior;

Towards an evaluation model of the readiness of open data in Colombian higher education institutions

Abstract: Open data is a tool that enables better the transparency of public administration, empower citizens, generate knowledge, innovation, and boosting the economy. The research analyzes the advances in open data in the higher education sector, the purpose of identifying conceptual elements for the design of the evaluation model of the readiness of open data in Colombian Higher Education's Institutions (HEI). Based on the review of literature be presented the classification for the use of open data in universities. Also, show analyzes of the referents of evaluation of the readiness of open data. On that basis, and the guidelines of open data in Colombia, are proposed and mapped components, elements, and dimensions of the measurement of the evaluation conceptual model. It concludes in the importance that it has measurement tools to better the openness of data in the HEI.

Keywords: open data; assessment; higher education institutions.

1. Introducción

El movimiento de datos abiertos es un tema liderado en las agendas digitales de diferentes países, en especial de aquellos que han asumido compromisos de acceso a la información pública, gobierno abierto, y gobierno digital (Susha, Zuiderwijk, Janssen, & Grönlund, 2015). A su vez, esta tendencia es considerada como una estrategia que con apoyo de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (TIC), contribuye en la rendición de cuentas, la transparencia pública, la generación de conocimiento, y el empoderamiento de los ciudadanos en la co-construcción de ideas, conocimiento y servicios (Welle Donker & van Loenen, 2017) solving societal problems, and increasing economic value. To describe and monitor the state of open data in countries and organisations, several open data assessment frameworks were developed. Despite high scores in these assessment frameworks, the actual (re.

Está dinámica, ha requerido que las administraciones públicas formalicen marcos regulatorios (leyes, decretos, directivas), programas, plataformas tecnológicas y herramientas que promueven la apertura de datos desde un punto de vista técnico y legal para la generación de valor (Janssen, Charalabidis, & Zuiderwijk, 2012). Considerando los esfuerzos realizados y los beneficios esperados de este movimiento, investigadores, grupos de trabajo, gobiernos, y organismos multilaterales, han definido propuestas de evaluación de datos abiertos con el fin de medir los avances y logros alcanzados (Susha et al., 2015; Web Foundation, 2018).

En Colombia, el gobierno nacional cuenta con el programa de datos abiertos para *“promover la transparencia, el acceso a la información pública, la competitividad, el desarrollo económico, y la generación de impacto social”* (MinTIC, 2015a). Este programa es una estrategia que aporta en el cumplimiento de las políticas nacionales de gobierno digital, gobierno abierto y explotación de datos (Big Data) (MinTIC, 2019b; Open Government Partnership, 2019; The Open Data Charter, 2017), por lo cual se han definido manuales y guías que promueven y orientan la apertura y uso de datos públicos (MinTIC, 2019b), así como la innovación digital en el país.

En términos de medición del avance de datos abiertos, el gobierno colombiano se centra en la publicación y uso de datos abiertos de entidades públicas, contando para ello con el Índice de Gobierno Digital (IGD) y el índice de Gobierno Abierto (IGA) (MinTIC, 2017; Procuraduría General de la Nación, 2016). Al revisar los resultados de la medición de 2017 del IGD para 3.589 instituciones del orden nacional y territorial, se encontró que solo el 6.93% de entidades indicaron haber publicado al menos un conjunto de datos en el portal datos.gov.co (MinTIC, 2017; Procuraduría General de la Nación, 2016). Esto significa que las entidades obligadas a divulgar proactivamente información pública según la Ley de Transparencia 1712 de 2014 no lo están realizando conforme a lo solicitado.

Específicamente, para el sector de la educación superior el gobierno se ha enfocado en el estudio del grado de preparación para la apertura de datos. en este estudio se identificó que en las Instituciones de Educación Superior (IES) existen barreras, en la adopción de la política de datos abiertos, asociadas con el desconocimiento de la normatividad, la ausencia de estándares, medios de colaboración o lineamientos para identificar la información que debería priorizarse para su apertura, así como la baja calidad de los

datos reportados al Ministerio de Educación (MinEducación) (Grupo del Banco Mundial & MinTIC, 2015).

De otra parte, al analizar el estado de la publicación de datos abiertos de las IES en el portal nacional datos.gov.co, se observa una baja publicación de conjuntos de datos, dado que, solo 11 de las 298 IES registradas en el Sistema Nacional de Instituciones de Educación (SNIES), han publicado, a diciembre de 2018, al menos un conjunto de datos (MinEducación, 2019; MinTIC, 2019a). Esta situación evidencia el bajo cumplimiento de lo dispuesto en las políticas y directrices nacionales en materia de acceso a la información pública, transparencia y datos abiertos. Todo lo anterior presenta las brechas a superar de parte de las IES, especialmente en lo relacionado con la preparación para la apertura de datos y la adopción de estrategias y tecnologías que faciliten el ciclo de datos abiertos.

Este escenario demanda que las IES evalúen, redefinan y ajusten sus procesos, en especial, aquellos asociados con la gestión de sus datos institucionales, de manera que puedan desarrollar estrategias para su apertura y reuso, cumpliendo con los lineamientos del gobierno nacional y con los objetivos en sus agendas de transformación digital para la generación de valor. Es por esto, que en esta investigación se planteó analizar el uso de datos abiertos en IES, así como, comparar referentes de evaluación de datos abiertos con el fin identificar los elementos conceptuales sobre los cuales se evalúe la preparación de la apertura de datos en IES colombianas, según los lineamientos que el gobierno nacional ha definido en esta materia. A continuación, se presenta el marco conceptual sobre el cual se soporta el estudio mostrando como se ha abordado la apertura de datos en IES, seguido por la metodología que orientó el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se describen los resultados obtenidos en la identificación de los elementos conceptuales de evaluación de una iniciativa de datos abiertos en IES, para finalmente presentar las conclusiones.

2. Marco conceptual

A continuación, se presentan los elementos teóricos que soportan la construcción del modelo de evaluación de la preparación para la apertura de datos en IES colombianas y el estado de la evaluación de datos abiertos en IES colombianas.

2.1. Gestión de datos abiertos

La gestión de datos es el ejercicio que orienta las actividades relacionadas con los datos y sus funciones. Este proceso implica el desarrollo, ejecución y supervisión de políticas, planes, programas y prácticas que permiten controlar, proteger, entregar y mejorar el valor de los datos y la información como activos de una organización (Mosley, Brackett, Earley, & Henderson, 2015). Para desarrollar una estrategia de apertura de datos de forma segura y eficiente se requiere tener en cuenta la gestión del ciclo de datos abiertos (Arman, Sembiring, & Suhardi, 2014).

El gobierno colombiano a través del programa de datos abiertos, ha definido el ciclo de datos abiertos que comprende cuatro etapas: 1) establecer el plan de apertura; 2) estructurar y publicar los datos; 3) comunicar y promover el uso de datos; y 4) monitorear la calidad y el uso, tal como se presenta en la Figura 1 (MinTIC, 2019b).

Este ciclo se articula con los componentes del marco de gobernanza de iniciativas de datos abiertos: 1) marco normativo; 2) actores; 3) herramientas; 4) incentivos; y 5) monitoreo. Además, se propone tener en cuenta el marco de referencia de arquitectura empresarial para la gestión de Tecnologías de la Información (TI), y las guías técnicas para: 1) gobierno del dato; 2) interoperabilidad; 3) estándares de calidad de datos; 4) uso de lenguaje común de intercambio; 5) anonimización; 6) publicación y divulgación; 7) uso y aprovechamiento; y 8) producción y gestión de información geográfica (MinTIC, 2015c, 2015b, 2019b).

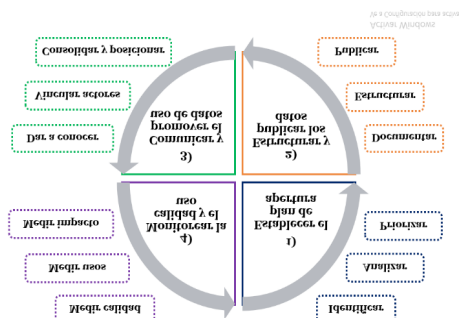


Figura 1 – Ciclo de datos abiertos. Fuente: Elaboración propia basada en (MinTIC, 2019b)

2.2. Evaluación de datos abiertos

La evaluación es un proceso que comprende la identificación, recopilación y análisis de información acerca de los avances, metas, logros e impactos de un objeto de estudio, para apoyar la toma de decisiones y solucionar problemas (Bustelo, 2003). Para el Banco Mundial, medir el progreso de datos abiertos contribuye en la identificación de acciones necesarias para desarrollar o ajustar estrategias de apertura de datos que respondan a necesidades y contextos particulares (World Bank Group, 2015). En (Davies, Perini, & Alonso, 2013) se identificó que la evaluación de datos abiertos se ha orientado a las etapas de preparación, implementación, e impacto. De manera específica, la evaluación de la preparación se realiza para diagnosticar si un gobierno o entidad está preparada y si cuenta con las condiciones apropiadas para desarrollar una iniciativa de datos abiertos de forma efectiva (Hu, Bai, & Sun, 2016). Este proceso ayuda a identificar fortalezas, desafíos, prioridades y las áreas que requieren inversiones o esfuerzos para la apertura de datos (Agbabiaka & Ojo, 2014; Vracic, Varga, & Curko, 2016). Esta medición puede generar información útil para las IES colombianas interesadas en mejorar la apertura de sus datos y que no han seguido los lineamientos nacionales para este tema.

2.3. Evaluación en IES colombianas

En Colombia, a partir del proyecto “Apertura de datos sobre calidad y cobertura educativa” se realizó el diagnóstico del grado de preparación de apertura de datos en el sector educativo (Grupo del Banco Mundial & MinTIC, 2015), entre sus resultados se

identificó una baja adopción de las políticas y lineamientos de la apertura de datos de parte de las IES colombianas.

En (Católico-Segura, Leal-Bonilla, & Londoño-Jiménez, 2019) se evalúa el grado de transparencia en universidades colombianas. Los autores diseñaron un Índice de Transparencia Activa (ITA) el cual realiza un ranking de universidades que cumplen la Ley de Transparencia y derecho a la información pública. Este índice fue validado con datos básicos de la estructura, dinámica y gestión institucional de 82 universidades públicas (32) y privadas (50). Los principales hallazgos evidenciaron un bajo nivel de acceso a la información de las IES, cumpliendo las universidades públicas en mayor grado que las privadas. Con base en lo anterior, se recomendó mejorar la disponibilidad y publicación de información de las universidades en la Web para fortalecer su relación con otros actores de su entorno.

De igual forma en el estudio de (Said-Hung, Cousido-González, & Berlanga-Fernández, 2018) se realizó la evaluación del nivel de transparencia de 197 IES colombianas públicas y privadas (83 universidades y 114 instituciones universitarias y escuelas tecnológicas). Esta evaluación se realiza con base en la Ley de Transparencia, y aplicando un análisis directo de las Webs institucionales, desde dos dimensiones de transparencia (formal y sustantiva). Los autores encontraron que, las instituciones analizadas se enfrenan a barreras en la aplicación efectiva de la Ley de Transparencia, y en la adopción de procesos de datos abiertos y el movimiento *Open* (acceso y ciencia abierta), siendo más acentuado en las IES privadas que en las públicas. Aunque estos trabajos son un primer acercamiento para la evaluación de datos abiertos en IES colombianas y se enfocan hacia la publicación y acceso a la información, no plantean indicadores o aspectos que puedan asociarse al nivel de preparación de una Universidad para mejorar su proceso de apertura de datos.

3. Metodología

Esta investigación tiene como objetivo identificar los elementos conceptuales para un modelo de evaluación de la preparación para la apertura de datos en IES colombianas, alienado con los lineamientos para datos abiertos en Colombia. Se estableció realizar esta investigación bajo un enfoque cualitativo, y siguiendo un proceso de tres etapas adaptadas de la propuesta realizada por (González-Zabala & Sánchez-Torres, 2013) siendo estas: 1) análisis del contexto; 2) identificación de elementos de propuestas evaluación; y 3) propuesta de elementos conceptuales, las cuales se presentan a continuación en la Figura 2.

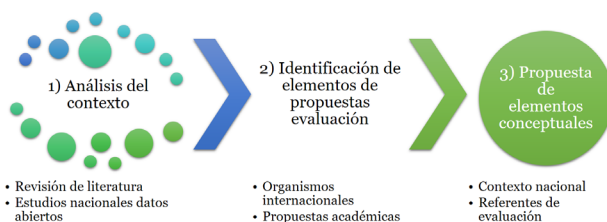


Figura 2 – Metodología. Elaboración basada en (González-Zabala & Sánchez-Torres, 2013)

4. Análisis del contexto

La apertura de datos en el ámbito de la educación superior, es una estrategia que facilita la interacción de la comunidad universitaria con el entorno, generando beneficios potenciales para la resolución de problemas internos y externos (ILDA, 2017). Teniendo en cuenta que es un tema reciente, se realizó la revisión de investigaciones asociadas con el tema de datos abiertos en el sector de la educación superior. Paralelamente, se analizó el diagnóstico de la apertura de datos en el sector educativo colombiano, con el fin de comprender el contexto y considerar aspectos de datos abiertos que deben atender las IES colombianas.

4.1. Revisión de trabajos de investigación

Para el desarrollo de la revisión de literatura se adaptó el proceso de análisis de trabajos académicos propuesto por (González-Zabala & Sánchez-Torres, 2013), que comprende cinco actividades las cuales se describen a continuación en la Tabla 1.

Actividad	Descripción
1) Delimitación de la búsqueda	Identificar artículos de revista y conferencia publicados entre 2009 y 2018 que se relacionan con datos abiertos en universidades. Se realizó la búsqueda por título, resumen y palabras clave en la base de datos SCOPUS por ser una fuente reconocida y actualizada de trabajos revisados por pares
2) Definición de la ecuación de búsqueda	Se construye la ecuación de búsqueda considerando los términos: datos abiertos / open data, educación superior / universidad / higher education / university
3) Búsqueda de artículos	Se realiza la búsqueda de estudios con base en los criterios de inclusión y la ecuación de búsqueda definida. Obteniendo 436 documentos
4) Selección de documentos	Con base en los resultados se seleccionaron 17 documentos relevantes sobre el uso de datos abiertos para su lectura en detalle y posterior clasificación.
5) Clasificación de documentos y análisis	A partir de las categorías definidas en la revisión teórica se llevó a cabo la clasificación de los documentos, con el fin de determinar los enfoques del uso de datos abiertos en IES.

Tabla 1 – Proceso para el análisis de documentos publicados en bases de datos científicas

En los resultados se evidenció el uso de datos abiertos en la educación superior para apoyar el acceso abierto, la ciencia abierta, la co-creación de productos y servicios, la gestión de servicios, la gobernanza, la innovación educativa y la transparencia. A continuación, en la Tabla 2 se presentan los trabajos seleccionados clasificados por uso. Se observó que la mayoría de trabajos se relacionan en el uso de datos para gobernanza como apoyo en la toma de decisiones, y en la innovación educativa, a través del uso de datos en talleres de cursos académicos.

Uso	Fuente
Acceso abierto	(Dardier, 2018; Picasso & Phelan, 2014)
Ciencia abierta	(Clements & McCutcheon, 2014; Karmanovskiy, Mouromtsev, Navrotsky, Pavlov, & Radchenko, 2016; Olendorf & Koch, 2012)architecture of this portal, published datasets and approach to mapping data from relational database to RDF

Uso	Fuente
Co –creación de productos y servicios	(Isomöttönen & Kärkkäinen, 2016; Krumova, 2017)
Gestión servicios	(Szász, Fleiner, & Micsik, 2017)
Gobernanza	(Bentivoglio, D’antini, Gison, & Giusepponi, 2014; Sarker, Tiropanis, & Davis, 2013; Francois van Schalkwyk, 2013; François van Schalkwyk, Willmers, & McNaughton, 2016)
Innovación educativa	(Anslow, Brosz, Maurer, & Boyes, 2016; Chang, Wang, Lee, Su, & Chang, 2016; Etherington, 2016; Jagtiani & Lewis, 2016)
Transparencia	(Católico-Segura et al., 2019; Said-Hung et al., 2018)

Tabla 2 – Enfoques del uso de datos abiertos en el sector de la educación superior

De otro lado, se identificaron dos estudios relevantes a la búsqueda. En (Nurasyiqin Ismael, Mohd, & Abd Rahim, 2018) se presenta la comparación de principios y modelos que han seguido el Reino Unido, Arabia Saudita y Sudáfrica para la recopilación de los datos, su disponibilidad y frecuencia de actualización. Por su parte en (Zubcoff et al., 2016) se describe la experiencia de implantación de la política de datos abiertos en la Universidad de Alicante bajo el enfoque de “Universidad Abierta”, se plantea una metodología de desarrollo de portales de datos abiertos, y se definen buenas prácticas para fomentar la reutilización de información de universidades y del sector público.

4.2.Contexto colombiano

Paralelamente, se revisó la existencia de estudios realizados para el sector educativo colombiano, con el fin de comprender el contexto y considerar los principios y orientaciones nacionales que deben atender las IES colombianas en materia de apertura de datos. Se encontró el estudio de preparación para la apertura en el sector educativo (Grupo del Banco Mundial & MinTIC, 2015), en el cual se reportó que la apertura de datos en IES se enfrenta a barreras político/legales, culturales/organizacionales y tecnológicas, las cuales se describen en la Tabla 3.

Tipo barrera	Descripción
Político / Legal	Baja implementación de la política Estricta aplicación de la normativa de protección de datos
Organizacional	Inexistencia de clasificaciones de la información para seleccionar los datos potencialmente publicables Carencia de mecanismos de colaboración para la mejora de datos
Tecnológico	Baja calidad de los datos reportados al Min Educación Ausencia de estándares para el intercambio de datos

Tabla 3 – Barreras para la adopción de datos abiertos en el sector de la educación

5. Identificación de elementos de evaluación

En esta etapa, se analizaron referentes de evaluación de la preparación de datos abiertos propuestos por organismos internacionales e investigadores, así como, el alcance de los indicadores que el IGD ha definido para medir el avance en datos abiertos. A continuación, se describen los referentes seleccionados.

5.1. Propuestas de evaluación de la preparación de datos abiertos

A partir de la revisión propuestas que miden el estado y desarrollo de iniciativas de datos abiertos a nivel mundial, y que abordan la etapa de preparación para la apertura de datos en gobiernos nacionales o locales, se identificó un índice, una herramienta de diagnóstico y un marco de evaluación, los cuales no tienen en cuenta el sector de la educación superior. Estas propuestas se describen a continuación:

- Open Data Barometer (ODB): índice que compara gobiernos que promueven los datos abiertos (Web Foundation, 2018). Este referente plantea un subíndice de preparación con medidas de existencia de datos abiertos, e intervenciones que fomentan el reuso y la participación ciudadana.
- Open Data Readiness Assessment (ODRA): herramienta que apoya a países en desarrollo en el diagnóstico de las acciones a realizar para avanzar en una iniciativa de datos abiertos (World Bank Group, 2015). Este instrumento ha sido adoptado en Latinoamérica por Colombia, México, Perú, y Paraguay.
- Marco para evaluar la preparación institucional de las organizaciones gubernamentales para brindar servicios abiertos, colaborativos y participativos (Agbabiaka & Ojo, 2014): instrumento de autoevaluación que se orienta a medir la preparación en la entrega de servicios de gobierno abierto, el intercambio de datos, sistemas y servicios con otras agencias, y la vinculación de actores en la toma de decisiones del gobierno.

A continuación, en la Tabla 4 se presentan las propuestas de evaluación descritas, los elementos seleccionados y las dimensiones que son abordadas a través de las métricas que han definido cada referente. Se observa que el ODB es la única propuesta que no plantea medidas relacionadas a aspectos financieros, mientras que todas las propuestas definen al menos un indicador para las dimensiones político/legal, organizacional, Tecnológico, talento humano y social.

Propuesta	Elementos	Dimensiones					
		Político / legal	Organizacional	Tecnológico	Talento Humano	Social	Financiero
ODB	Existencia de datos, e intervenciones para el uso y participación ciudadana	X	X	X	X	X	-
ODRA	Definición de acciones	X	X	X	X	X	X

Propuesta	Elementos	Dimensiones					
		Político / legal	Organizacional	Tecnológico	Talento Humano	Social	Financiero
(Agbabiaka & Ojo, 2014)	Intercambio de datos, sistemas y servicios, y vinculación de actores	X	X	X	X	X	X

Tabla 4 – Elementos y dimensiones de propuestas de evaluación de datos abiertos

5.2. Evaluación y seguimiento de la política de datos abiertos en Colombia

La medición del avance del programa de datos abiertos en Colombia se ha monitoreado del 2014 al 2017 a través de indicadores que miden la publicación, y uso de conjuntos de datos de entidades públicas, sin tener en cuenta a las IES. Estos indicadores hacen parte del IGD aplicado del año 2014 al 2017 a entidades nacionales (168) y territoriales (3.589) (MinTIC, 2018b, 2018a), y del IGA el cual ha monitoreo del 2014 al 2016 el cumplimiento de las normas de anticorrupción en entidades territoriales (1.101 alcaldías y 32 gobernaciones) (Procuraduría General de la Nación, 2016). En este análisis, se evidenció que los indicadores se orientan hacia la implementación y uso de los datos abiertos tal como se muestra en la Tabla 5.

Actividad	Descripción
Publicación	¿Cuántos conjuntos de datos abiertos estratégicos fueron identificados? ¿Cuántos de los conjuntos de datos abiertos estratégicos identificados fueron publicados en el catálogo de datos del Estado colombiano www.datos.gov.co ?
Difusión	¿Cuántos de los conjuntos de datos abiertos fueron publicados, están actualizados y fueron difundidos?
Uso	¿Cuántas aplicaciones se desarrollaron a partir de los conjuntos de datos abiertos? ¿Cuántas publicaciones (artículos, noticias, libros, etc.) hicieron uso de los conjuntos de datos abiertos?

Tabla 5 – Indicadores para medir el avance de datos abiertos en el IGA y IGD

6. Propuesta de elementos conceptuales para evaluar la preparación de datos abierto en IES

En esta etapa se mapearon los elementos conceptuales para cinco componentes que conforman el modelo de evaluación de la preparación de datos abiertos. El componente de normatividad considera la Ley de transparencia y las políticas de gobierno digital, de explotación de datos públicos, protección de datos personales, ciencia abierta y acceso abierto. El ecosistema de actores comprende la oferta (comunidad universitaria) y la demanda (usuarios potenciales de los datos). En las herramientas se contemplan los sistemas de información institucionales, el portal Web, los repositorios académicos y las guías técnicas para el gobierno, calidad e interoperabilidad de datos. En los incentivos, se consideran los concursos nacionales para el reuso de datos, y finalmente en la medición se

establecen las dimensiones político/legal, organizacional, tecnológico, talento humano y social, a través de la cual se planteen medidas que involucren los demás componentes y sus elementos para la generación de valor público, social y económico. A continuación, en la Figura 3 se presenta la relación de los componentes y elementos definidos.

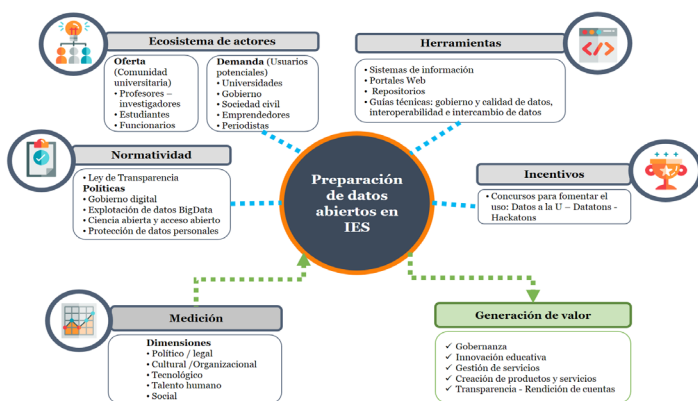


Figura 3 – Elementos conceptuales propuestos

7. Conclusiones

Este estudio se centró en la identificación de elementos que aportan en la conceptualización de un modelo de evaluación de la preparación para la apertura de datos en IES colombianas, siendo la preparación una etapa esencial del ciclo de datos abiertos. A partir del análisis del contexto se observó que, el programa de datos abiertos del gobierno colombiano ha promovido la apertura de datos en el sector educativo, sin embargo, existen barreras de tipo legal, organizacional y tecnológica que afectan su adopción. Con base en la revisión de literatura se identificó que en la educación superior existen estudios relacionados con el uso de datos abiertos. Los resultados obtenidos se clasificaron y mostraron que las universidades usan datos abiertos principalmente en la gobernanza y la innovación educativa. De otro lado, dado que la evaluación en datos abiertos es relativamente nueva, sólo se identificaron y analizaron tres referentes de evaluación de la preparación (ODB, ODRA y el Marco para evaluar la preparación institucional de las organizaciones gubernamentales para brindar servicios abiertos, colaborativos y participativos), los cuales abordan esta medición desde diferentes alcances, elementos y dimensiones.

Finalmente, a partir de los análisis realizados y del marco de gobernanza de datos abiertos propuesto por el gobierno colombiano se determinaron elementos conceptuales para cinco componentes de una propuesta inicial del modelo de evaluación de la preparación para la apertura de datos, que queda abierta a cambios y actualizaciones. Se espera que el modelo conceptual aporte en el diseño del instrumento de medición de la preparación para la apertura de datos en IES colombianas, el cual permita generar información que soporte la definición de acciones de mejora para una adecuada preparación en datos abiertos. Además, en esta propuesta se determinaron las dimensiones y elementos clave para considerarse en la evaluación de la preparación de datos abierto, siendo

estas asociadas a aspectos políticos, organizacionales, tecnológicos, de talento humano y sociales. Teniendo en cuenta que los elementos identificados son generales, se hace necesario como trabajo futuro profundizar en las características institucionales de las IES con lo cual se precisen las métricas del instrumento de medición.

Referencias

- Agbabiaka, O., & Ojo, A. (2014). Framework for assessing institutional readiness of government organizations to deliver open, collaborative and participatory services. *Proceedings of the 8th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance - ICEGOV '14*, 186–189. <https://doi.org/10.1145/2691195.2691251>
- Anslow, C., Brosz, J., Maurer, F., & Boyes, M. (2016). Datathons: An experience report of data hackathons for data science education. *Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education - SIGCSE '16*, 615–620. <https://doi.org/10.1145/2839509.2844568>
- Arman, A. A., Sembiring, J., & Suhardi. (2014). The importance of data management to support open data - Case study in Indonesia. *8th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, ICEGOV 2014, 2014-Janua*, 504–505. <https://doi.org/10.1145/2691195.2691292>
- Bentivoglio, C., D'antini, G., Gison, G., & Giusepponi, K. (2014). Data warehouse, reporting and stakeholder engagement. Achievements of the University of Macerata. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 10(2). Retrieved from <https://www.learntechlib.org/p/148272/>
- Bustelo, M. (2003). *La evaluación de la acción y de las políticas públicas*. Retrieved from http://orga.blog.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/28/2014/03/Bustelo_metodologia_evaluacion.pdf
- Católico-Segura, D.-F., Leal-Bonilla, K.-Y., & Londoño-Jiménez, O.-M. (2019). La transparencia activa y su vínculo con el origen institucional: el caso de las universidades colombianas. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, X(27), 51–71. <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2019.27.340>
- Chang, J. W., Wang, T.-I., Lee, M.-C., Su, C.-Y., & Chang, P.-C. (2016). Impact of Using Creative Thinking Skills and Open Data on Programming Design in a Computer-Supported Collaborative Learning Environment. *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 396–400. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.78>
- Clements, A., & McCutcheon, V. (2014). Research Data Meets Research Information Management: Two Case Studies Using (a) Pure CERIF-CRIS and (b) EPrints Repository Platform with CERIF Extensions. *Procedia Computer Science*, 33, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.06.033>
- Dardier, G. J. (2018). Open Access to Digital Information at the University for Applied Sciences and Arts Western Switzerland. *Proceedings of the 1st International Conference on Digital Tools & Uses Congress - DTUC '18*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3240117.3240140>

- Davies, T., Perini, F., & Alonso, J. M. (2013). *Researching the emerging impacts of open data*. Retrieved from [http://www.opendataresearch.org/sites/default/files/posts/Researching the emerging impacts of open data.pdf](http://www.opendataresearch.org/sites/default/files/posts/Researching%20the%20emerging%20impacts%20of%20open%20data.pdf)
- Etherington, T. R. (2016). Using open-ended geographic information system assessments to allow students to construct relevant geographies given the internationalisation of tertiary education in New Zealand. *New Zealand Geographer*, 72(2), 151–158. <https://doi.org/10.1111/nzg.12109>
- González-Zabala, M. P., & Sánchez-Torres, J. M. (2013). Propuesta de una metodología para el diseño de sistemas de indicadores para la evaluación de la Sociedad de la Información en Colombia. *IX Congreso Iberoamericano e Indicadores de Ciencia y Tecnología*, 1–12. Bogota D.C.
- Grupo del Banco Mundial, & MinTIC. (2015). *Estudio del grado de preparación para la apertura de datos del sector educativo en Colombia*. Retrieved from http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/articles-9407_datos_sector_educativo.pdf
- Hu, Y., Bai, X., & Sun, S. (2016). Readiness Assessment of Open Government Data Programs: A case of Shenzhen. *Proceedings of the 17th International Digital Government Research Conference on Digital Government Research - Dg.o '16*, 97–103. <https://doi.org/10.1145/2912160.2912179>
- ILDA. (2017). ¿Por qué los datos abiertos son importantes para la Educación Superior? – ILDA. Retrieved February 25, 2018, from <https://idatosabiertos.org/por-que-los-datos-abiertos-son-importantes-para-la-educacion-superior/>
- Isomöttönen, V., & Kärkkäinen, T. (2016). Project-Based Learning Emphasizing Open Resources and Student Ideation: How to Raise Student Awareness of IPR? In Computer Supported Education (Ed.), *International Conference on Computer Supported Education* (pp. 293–312). https://doi.org/10.1007/978-3-319-29585-5_17
- Jagtiani, L. J., & Lewis, N. (2016). Enhancing Software Engineering Curricula By Incorporating Open, Data-Driven Planning Methods. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 1–2. Retrieved from <https://scholarworks.bridgeport.edu/xmlui/handle/123456789/1540>
- Janssen, M., Charalabidis, Y., & Zuiderwijk, A. (2012). Benefits, Adoption Barriers and Myths of Open Data and Open Government. *Information Systems Management*, 29(4), 258–268. <https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740>
- Karmanovskiy, N., Mouromtsev, D., Navrotskiy, M., Pavlov, D., & Radchenko, I. (2016). A Case Study of Open Science Concept: Linked Open Data in University. In *DTGS 2016: Digital Transformation and Global Society* (pp. 400–403). https://doi.org/10.1007/978-3-319-49700-6_39
- Krumova, M. (2017). Higher Education 2.0 and Open Data. *Proceedings of the 10th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance - ICEGOV '17*, 562–563. <https://doi.org/10.1145/3047273.3047316>

- MinEducación. (2019). Sistema Nacional de Información de la Educación Superior. Retrieved February 11, 2019, from <https://snies.mineducacion.gov.co/consultasnies/institucion#>
- MinTIC. (2015a). Datos Abiertos - Gobierno Digital. Retrieved November 30, 2017, from <http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/w3-article-9407.html>
- MinTIC. (2015b). *Decreto 1078 de 2015* (pp. 1–172). pp. 1–172. Retrieved from http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-9528_documento.pdf
- MinTIC. (2015c). *Resolución número 3564 de 2015*. Retrieved from https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-14476_documento.pdf
- MinTIC. (2017). Índice territorial - Estrategia GEL. Retrieved November 10, 2017, from <http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/w3-propertyvalue-14714.html>
- MinTIC. (2018a). Índice de Gobierno Digital - Nivel Nacional - Gobierno Digital. Retrieved March 29, 2018, from <http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/w3-propertyvalue-14713.html>
- MinTIC. (2018b). Índice de Gobierno Digital - Nivel Territorial - Gobierno Digital. Retrieved January 20, 2018, from <http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/w3-propertyvalue-14714.html>
- MinTIC. (2019a). Datos Abiertos Colombia. Retrieved February 9, 2019, from <https://www.datos.gov.co/>
- MinTIC. (2019b). *Guía para el uso y aprovechamiento de Datos Abiertos en Colombia*. Retrieved from http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/articles-9407_guia_datos.pdf
- Mosley, M., Brackett, M., Earley, S., & Henderson, D. (2015). *The DAMA Guide to the Data Management Body of Knowledge*. DAMA.
- Nurasyiqin Ismael, S., Mohd, O., & Abd Rahim, Y. (2018). Implementation of open data in higher education: a review. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(11), 3489–3499. Retrieved from [http://jestec.taylors.edu.my/Vol 13 issue 11 November 2018/13_11_04.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Vol%2013%20issue%2011/November%2018/13_11_04.pdf)
- Olendorf, R., & Koch, S. (2012). Beyond the low hanging fruit: Archiving complex data and data services at University of New Mexico. *Journal of Digital Information*, 13(1), 1–10. Retrieved from <https://journals.tdl.org/jodi/index.php/jodi/article/view/5878/5882>
- Open Government Partnership. (2019). Open Government Partnership. Retrieved August 30, 2017, from <https://www.opengovpartnership.org/about/about-ogp>
- Picasso, V., & Phelan, L. P. (2014). The evolution of open access to research and data in Australian higher education. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 11(3), 122. <https://doi.org/10.7238/rusc.v11i3.2076>
- Procuraduría General de la Nación. (2016). *Índice de Gobierno Abierto -IGA Resultados 2015 - Análisis Comparativo 2010-2015*. Retrieved from <https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/IGAP.pdf>

- Said-Hung, E., Cousido-González, M.-P., & Berlanga-Fernández, I. (2018). Transparency in higher education institutions in Colombia. *El Profesional de La Información*, 27(1), 162–171. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.ene.15>
- Sarker, F., Tiropanis, T., & Davis, H. C. (2013). Students' Performance Prediction by Using Institutional Internal and External Open Data Sources. *Students' Performance Prediction by Using Institutional Internal and External Open Data Sources*, 1–8. Retrieved from <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>
- Susha, I., Zuiderwijk, A., Janssen, M., & Grönlund, Å. (2015). Benchmarks for Evaluating the Progress of Open Data Adoption: Usage, Limitations, and Lessons Learned. *Social Science Computer Review*, 33(5), 613–630. <https://doi.org/10.1177/0894439314560852>
- Szász, B., Fleiner, R., & Micsik, A. (2017). A Case Study on Linked Data for University Courses. In *OTM 2016: On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2016 Workshops* (pp. 265–276). https://doi.org/10.1007/978-3-319-55961-2_27
- The Open Data Charter. (2017). International Open Data Charter. Retrieved November 30, 2017, from <https://opendatacharter.net/#>
- van Schalkwyk, Francois. (2013). Supply-side variants in the supply of open data in university governance. *Proceedings of the 7th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance - ICEGOV '13*, 334–337. <https://doi.org/10.1145/2591888.2591948>
- van Schalkwyk, François, Willmers, M., & McNaughton, M. (2016). Viscous Open Data: The Roles of Intermediaries in an Open Data Ecosystem. *Information Technology for Development*, 22(sup1), 68–83. <https://doi.org/10.1080/02681102.2015.1081868>
- Vracic, T., Varga, M., & Curko, K. (2016). Effects and evaluation of open government data initiative in Croatia. *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 1521–1526. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2016.7522380>
- Web Foundation. (2018). *Barómetro de los Datos Abiertos - Edición de los Líderes*. Retrieved from www.webfoundation.org
- Welle Donker, F., & van Loenen, B. (2017). How to assess the success of the open data ecosystem? *International Journal of Digital Earth*, 10(3), 284–306. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1224938>
- World Bank Group. (2015). *Open Data Readiness Assessment Methodology* (p. 38). p. 38. Retrieved from <http://opendatatoolkit.worldbank.org/en/odra.html>
- Zubcoff, J. J., Vaquer, L., Mazón, J.-N., Maciá, F., Garrigós, I., Fuster, A., & Carcel, J. V. (2016). The university as an open data ecosystem. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 11(3), 250–257. <https://doi.org/10.2495/DNE-V11-N3-250-257>

Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA): um projeto multidisciplinar

Simone Borges Simão Monteiro¹, Ana Cristina Fernandes Lima¹, Ari Melo Mariano¹, Everaldo Silva Júnior¹

simoneborges@unb.br, anacristina.limafernandes@gmail.com, arimariano@unb.br, everaldo.s.junior@gmail.com

¹ Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, Universidade de Brasília, DF, Brasil

Pages: 766–778

Resumo: A Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA) é um projeto interdisciplinar que envolve alunos dos cursos de graduação em Engenharia de Software, Engenharia de Produção e do mestrado em Computação Aplicada da Universidade de Brasília, sendo contemplado pelo Programa de Aprendizagem para o 3º Milênio do Centro de Educação à Distância. Este artigo tem como objetivo apresentar a Plataforma PUMA, com foco nas suas funcionalidades implementadas, no seu processo de desenvolvimento e na aprendizagem dos alunos envolvidos na sua criação. A pesquisa tem uma abordagem qualitativa e é classificada como estudo de caso. A Plataforma funciona como instrumento útil para medir a eficácia da metodologia *Problem Based Learning (PBL)*, além de possibilitar que os alunos adquiram habilidades e conhecimentos necessários para acompanhar as exigências do mercado. Os resultados mostram que a importância da multidisciplinariedade está na eficácia do desenvolvimento da Plataforma, pois propicia a junção de conhecimento de três áreas.

Palavras-chave: Metodologias Ativas; *Problem Based Learning*; Plataforma; Multidisciplinar.

Unified Active Methodology Platform (PUMA): A Multidisciplinary Project

Abstract: The Unified Platform of Active Methodology (PUMA) is an interdisciplinary project that involves the undergraduate course in Software Engineering, Production Engineering and MSc in Applied Computing at the University of Brasília. It is complemented by the Learning Program for the 3rd Millennium of CEAD. This article aims to present a PUMA Platform, with emphasis on its implemented functionalities, in its development process and in the learning of its series in its creation. The research has a qualitative approach and is like a case study. The Platform serves as a useful tool for measuring the effectiveness of the Problem Based Learning (PBL) methodology and enables students to acquire the skills and knowledge needed to keep up with market demands. The results show that the importance of multidisciplinarity lies in the effectiveness of the development of the Platform, as it provides the knowledge joining of three areas.

Keywords: Active Methodologies; Problem Based Learning; Platform; Multidisciplinary.

1. Introdução

Segundo a Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplam) (2018), a economia do Distrito Federal (DF) é dominada pelo setor de serviços que representa 94,3% do Produto Interno Bruto (PIB). Esse fato abre uma excelente perspectiva para a atuação de engenheiros com um perfil profissional que lhes permita trabalhar na identificação e resolução de problemas, resultando em uma grande demanda na região por profissionais de Engenharia de Produção (Balthazar & Silva, 2010).

O curso de Engenharia de Produção (EPR) da Universidade de Brasília (UnB) apresenta em seu currículo inovador a abordagem *Problem Based Learning* (PBL), que contempla em sua grade curricular sete disciplinas de Projetos de Sistemas de Produção (PSPs). Essas disciplinas se distribuem ao longo do percurso educativo do aluno, tendo início no quarto e término no antepenúltimo semestre do Curso. O PBL tem como objetivo fazer com que os alunos apliquem os conhecimentos teóricos da Engenharia de Produção na resolução de problemas reais oriundos de agentes externos (stakeholders), garantindo uma visão articulada entre as características da atuação profissional e as diferentes áreas de conhecimento, permitindo compreender a diversidade de aspectos determinantes envolvidos na solução de problemas (Monteiro et al., 2017).

Além de promover a geração de soluções para os problemas reais das empresas, sejam elas privadas ou públicas, os PSPs proporcionam uma experiência em gerenciamento de projetos e trabalho em equipe (Monteiro et al., 2017). O curso de Engenharia de Produção enfrenta riscos que podem estar associados aos projetos desenvolvidos pelos alunos, ao ocasionar produtos ou serviços que não atendem à demanda dos stakeholders. E muitos dos produtos ou serviços desenvolvidos refletem resultados para sociedade (ISO 31010, 2012).

O acompanhamento dos projetos desenvolvidos pelos alunos por parte dos professores, alunos e demais partes interessadas não é uma tarefa fácil, pois os projetos se diferem entre os PSPs, principalmente no que tange a sua estrutura, pois cada disciplina busca desenvolver competências técnicas e transversais distintas, a depender do que o professor julgar importante à temática apresentada. Outro grande desafio dessa metodologia de aprendizagem é a avaliação da sua implementação ao longo de todo o Curso.

Este artigo tem como objetivo apresentar a Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA), que busca integrar de forma automatizada os projetos desenvolvidos pelos alunos nas disciplinas de PSPs, destacando-se as funcionalidades implantadas, o seu processo de desenvolvimento e a aprendizagem adquirida pela equipe de desenvolvimento. A Plataforma PUMA faz parte do Programa Aprendizagem para o 3º Milênio do Centro de Educação à Distância (CEAD/UnB), tendo como o patrocínio o valor de 25 mil reais para seu desenvolvimento, e conta com uma equipe de projeto composta por dois professores orientadores, 6 alunos dos cursos de graduação em Engenharia de Software, Engenharia de Produção e do mestrado em Computação Aplicada da Universidade de Brasília. Entretanto, o número de envolvidos que serão utilizadores da Plataforma fica em torno de 550 alunos e 15 professores, além de diversas empresas privadas e públicas. Sendo

assim, o Projeto PUMA tem uma dimensão social, pois pode fortalecer a interação entre os alunos e as empresas, facilitando a avaliação por parte dos professores, e garantindo um maior feedback para os envolvidos.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, é apresentado o referencial teórico; na seção 3, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa; a seção 4 faz o detalhamento das funcionalidades implementadas na Plataforma; na seção 5 é apresentada uma análise da experiência de aprendizagem da equipe interdisciplinar do projeto; e, por fim, na seção 6 são apresentadas as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros.

2. Referencial teórico

A seção 2 apresenta conceitos importantes para fundamentar a proposta deste trabalho, além de trabalhos similares desenvolvidos.

2.1. Problem Based Learning (PBL)

O *Problem Based Learning* (PBL) é uma abordagem de ensino projetada para engajar os alunos na investigação de problemas reais. Nesse modelo os estudantes buscam soluções de problemas não triviais debatendo ideias, fazendo previsões, desenvolvendo planos e/ou experimentos, coletando e analisando dados, comunicando suas conclusões a outros alunos, levantando novas questões e criando artefatos (Blumenfeld et al., 1991).

Blumenfeld et al., (1991), afirmam ainda que existem dois componentes fundamentais em projetos: eles exigem uma pergunta que serve para organizar e dirigir atividades; e essas atividades resultam em artefatos ou produtos que culminam em um produto final que remete a pergunta inicial. Citam que projetos são incontestavelmente diferentes das atividades convencionais que são desenhadas para ajudar estudantes no aprendizado na ausência de uma questão direcionadora. Nesse sentido, essa se torna a abordagem ideal para o ensino de metodologias de gestão de projetos, levando em consideração que projetos são elaborados sempre para responder a alguma questão ou solucionar algum problema.

O uso de abordagens ativas de aprendizado tem sido objeto de muitas pesquisas e estudos para aprimorar o aprendizado em cursos de engenharia. O desenvolvimento de interdisciplinares habilidades, cooperação, gerenciamento de projetos, liderança, capacidade de solução de problemas, entre outros aspectos, foi considerado essencial para compor o treinamento dos engenheiros atuais (Taajamaa et al., 2013).

Os sistemas educacionais que utilizam a metodologia PBL são baseados em problemas reais de engenharia que valorizam o trabalho em equipe e coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem (Iturbe & Pelayo, 2010). Busca-se aproveitar a integração da Tecnologia da Informação (TI) para estabelecer significativos processos de aprendizagem e educação, sendo também englobada, nesse contexto, a metodologia PBL (Torres, 2015).

2.2. Aplicação da Tecnologia da Informação (TI) no Ensino Superior

No contexto atual, onde o mundo está cada vez mais digitalizado, é essencial fornecer aos alunos ferramentas metodológicas que envolvam tecnologias da informação e

comunicação (TIC), de forma a tornar os estudantes responsáveis pelo seu próprio processo de aprendizagem (Diaz & Alvarez, 2018). Nas últimas décadas, o uso de ambientes e plataformas virtuais para alavancar e apoiar os processos de ensino-aprendizagem aumentou consideravelmente (Marco et al., 2017).

A aplicação de TI na aprendizagem contemporânea melhora a qualidade da educação no ensino superior (Kudumovic et al., 2009). A TI aplicada na educação oferece oportunidades para o desenvolvimento de uma nova metodologia educacional, focada no desenvolvimento de habilidades práticas dos alunos (Romanovs, 2009)

A TI cada vez mais se integra ao processo educacional, tornando-se parte integrante do sistema educacional, desde o ensino fundamental até o nível universitário (Hamiti, Reka, & Baloghová, 2014)

As universidades estão usando TI para aprimorar a qualidade, relevância e desempenho do processo de aprendizagem, visando reduzir custos e o consumo de recursos, além de se envolverem de forma mais eficaz e ativa com seus alunos, professores e funcionários (Chichernea, 2016).

2.3. Projetos multidisciplinares de TI

É possível encontrar na literatura diversos projetos de TI que contam com equipes multidisciplinares. O projeto de criação de uma coleção virtual de obras de arte e arquitetura, principalmente de origem nacional e latino-americana da Faculdade de Arquitetura e Belas Artes da Pontifícia Universidade Católica do Chile, contou com a participação de uma equipe multidisciplinar (Musalem, 1995).

O desenvolvimento do Sistema de Controle de Atitude do satélite MINISAT-O1 utilizou uma metodologia de software que permitiu a criação de uma equipe pequena e multidisciplinar que lidou com o ciclo completo de desenvolvimento dentro do cronograma e orçamento (Villa, 1997).

Ford et al. (2016) apontam em seu trabalho o uso de uma equipe multidisciplinar com formação em obstetrícia, anestesia e TI para realizar o processo de desenvolvimento de um aplicativo simulador de cardiotocógrafa (CTG) que pudesse ser operado em um *smartphone*.

Allison & Birmingham (2012) apresentam um projeto focado no design, fabricação, montagem e teste de uma fresadora de três eixos controlada por computador para entalhar tubos finais de paredes. Este projeto multidisciplinar exigiu uma estreita cooperação entre estudantes de engenharia mecânica e ciência da computação.

O artigo de Anderson et al. (2012) descreve uma experiência multidisciplinar de um ano em que os alunos se engajaram no projeto e na construção de tecnologia para resolver problemas enfrentados pelas populações em ambientes locais e remotos com recursos limitados. Reuniu-se equipes interdisciplinares de estudantes, principalmente dos departamentos de ciência da computação e engenharia. Os alunos trabalharam em projetos com impacto no mundo real e ganharam uma valiosa experiência com o projeto e trabalho em equipe multidisciplinar. Ambos os lados obtiveram uma maior apreciação das dificuldades enfrentadas por seus pares.

O trabalho de Babic et al. (2015) apresenta um modelo de desenvolvimento de software para implementação de aplicativos de comunicação e educação baseados em Comunicação Aumentativa e Alternativa, ressaltando que processo de desenvolvimento deve explorar plenamente uma sinergia necessária da equipe multidisciplinar composta por especialistas em TI e comunicação.

O estudo Farinango et al. (2018) descreve o desenvolvimento de um projeto centrado no homem de um sistema de registro de saúde pessoal para gerenciamento de síndrome metabólica, onde o fato de se ter uma equipe multidisciplinar permitiu a aplicação de considerações não apenas das disciplinas de engenharia de software e ciências da saúde, mas também de outras disciplinas, como *design* gráfico e comunicação com a mídia.

3. Metodologia da Pesquisa

A seção 3 apresenta os métodos utilizados na pesquisa e a estruturação da pesquisa para o alcance dos resultados.

3.1. Método de Pesquisa

Esta pesquisa é do tipo exploratória com uma abordagem qualitativa (Silveira & Córdova, 2009), tendo sua estratégia de pesquisa classificada como um estudo de caso, pois está centrada no estudo de um fenômeno dentro de seu contexto real (Yin, 2013), que, no presente caso, é o desenvolvimento de um sistema automatizado que dê suporte à aplicação da metodologia *Problem Based Learning* (PBL) no curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília.

As técnicas utilizadas para coleta de dados foram reuniões de validação e um questionário anônimo online para avaliar a aprendizagem dos alunos envolvidos na criação da Plataforma, sendo as suas perguntas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Questionário de avaliação da aprendizagem dos alunos envolvidos na criação da Plataforma PUMA

Q1	Quais as vantagens e desvantagens que você identificou por trabalhar em uma equipe multidisciplinar?
Q2	Em relação ao trabalho multidisciplinar, qual foi a sua experiência em relação à produtividade?
Q3	O fato de ter colegas de outras disciplinas contribuiu para os seus conhecimentos/aprendizagem?
Q4	Quais conhecimentos você buscou adquirir por influência do projeto?

O questionário foi baseado no instrumento elaborado por Barbosa, Nelson e Alonso (2012). A estruturação da pesquisa é descrita na seção 3.2.

3.2. Estruturação da Pesquisa

Através da classificação do presente estudo no que se refere às diferentes abordagens e seguindo as etapas básicas da Engenharia de Software, foi definida uma estrutura de pesquisa para o alcance dos objetivos propostos. A estrutura está descrita na Figura 1.

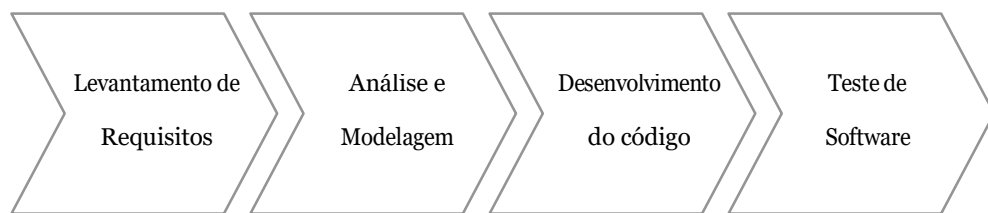


Figura 1 – Estruturação da pesquisa

A Etapa de Levantamento de Requisitos se deu por meio das técnicas de *Brainstorming* e *Storyboards* aplicadas em uma reunião com 5 professores que lecionam disciplinas de PSPs, que teve como resultado a modelagem a nível macro da Plataforma. Os requisitos levantados nessa reunião serviram de insumo para a etapa de análise e modelagem de cada funcionalidade.

Na Etapa de Análise e Modelagem, a fim de auxiliar a parte visual do sistema, foi selecionado o *framework Bootstrap*, que torna o desenvolvimento dos protótipos mais fácil, pois inclui padrões de design prontos. Os códigos dos protótipos foram usufruídos na elaboração do front-end.

A Etapa de Desenvolvimento do código contou com reuniões constantes de validação a cada 15 dias, com um dos professores orientadores do projeto, e os 6 alunos dos cursos de graduação e mestrado em Computação Aplicada, equipe multidisciplinar, desenvolvedores da Plataforma. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento das funcionalidades foram: *Node.js*, *PostgreSQL* e *React.js*. Para auxiliar o desenvolvimento, foi escolhido o *GitHub* como ferramenta de versionamento e o *Travis CI* para a integração contínua.

Na Etapa de Teste de Software, as funcionalidades foram disponibilizadas para o teste de aluna do mestrado em Computação Aplicada da Universidade de Brasília, que faz parte da equipe do projeto. Nessa etapa, foram aplicados apenas teste funcionais.

Para a gestão do projeto, foi utilizado inicialmente o *framework Scrum*, com o intuito de ter uma abordagem iterativa e incremental, dando uma maior liberdade do desenvolvimento para a equipe, mas no decorrer do desenvolvimento, a equipe optou por aplicar uma metodologia híbrida, mesclando as abordagens ágil e tradicional. Essa mudança visou uma melhor divisão das tarefas. Na seção 4 é apresentada a Plataforma PUMA, objeto da presente pesquisa.

4. Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA)

A Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA) está sendo desenvolvida para apoiar a aplicação do PBL ao longo das disciplinas de PSPs no curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília.

Parte-se do princípio que a Plataforma PUMA seja uma ferramenta que integre os insumos e resultados dos projetos desenvolvidos pelos alunos durante a graduação,

sendo a porta de entrada das demandas dos stakeholders na submissão de projetos a serem trabalhados pelos alunos na resolução de problemas reais.

A partir do levantamento de requisitos com os stakeholders, as principais funcionalidades da ferramenta foram divididas em 3 módulos dentro do sistema, a saber: Divulgação e Solicitação de Projetos; Montagem da Disciplina; e Aplicação e Avaliação da Metodologia.

O Módulo de Divulgação e Solicitação de Projetos do PUMA teve seu desenvolvimento 100% completo entre abril de 2018 a fevereiro de 2019, já o Módulo Montagem da Disciplina, até o momento da presente pesquisa, teve 25% do seu código finalizado, contando com 80% das suas funcionalidades modeladas.

4.1. Funcionalidades implementadas

As funcionalidades da Plataforma PUMA serão utilizadas pelos agentes externos, que são os clientes dos projetos; pelo departamento EPR, a secretaria do Curso; pelos alunos, monitores, professores e coordenador das disciplinas PSPs; e pelo administrador da plataforma. Da seção 4.1.1 até a 4.1.3, são apresentadas as funcionalidades implantadas até o momento na Plataforma PUMA.

4.1.1. Projetos

A Plataforma permite a submissão, a triagem e o gerenciamento dos projetos colocados à disposição dos alunos pelos stakeholders. Na Figura 2 é apresentada a funcionalidade Submissão de Projeto.

Ao acessar a área referente a Submissão de Projetos, o usuário pode incluir um novo projeto. Para facilitar a etapa de triagem de projetos, além da área de aplicação, o agente externo tem que responder a obrigatoriamente às seguintes perguntas: “Qual o título do projeto?”; “Qual o problema que deseja resolver nesse projeto?”; “Qual o objetivo você quer alcançar com este projeto?”. Após a criação do projeto, ele pode ser gerenciado com a funcionalidade Meus Projetos apresentada na Figura 3.



Figura 2 – Funcionalidade Submissão de Projeto

PUMA / UnB			
Título	Descrição	Status	
Mercado LC	Tenho muito desperdício de est ...	Pendente	👁
Levantamento de indicadores de qualidade no Senado	Entender melhor o nosso públic ...	Aceito	👁

Figura 3 – Funcionalidade Meus Projetos

Status

...

✓

✗

Status: Pendente

Editar Projeto

Aceitar Rejeitar

Resposta:

Figura 4 – Funcionalidade Gerenciar Projetos

A funcionalidade Meus Projetos possibilita que os stakeholders acompanhem os seus projetos submetidos na Plataforma PUMA. Os projetos submetidos podem receber os seguintes status: pendente, quando ele ainda não foi analisado pelo coordenador dos PSPs ou departamento EPR; rejeitado, quando o projeto foi recusado na etapa de triagem; e aprovado, quando o projeto vai ser colocado para ser desenvolvido pelos alunos em alguma disciplina PSP. A Figura 4 apresenta a funcionalidade Gerenciar Projetos que é responsável pela etapa de triagem dos projetos.

O coordenador dos PSPs e o departamento EPR serão os responsáveis pela triagem dos projetos, visando direcioná-los para as suas respectivas disciplinas. Essa funcionalidade permite: editar o projeto, quando for necessário alterar alguma parte da submissão, por exemplo, a área de aplicação; aceitar, quando o projeto for colocado à disposição dos alunos; e rejeitar, quando o projeto não se encaixar em nenhuma área de aplicação dos PSPs ou contiver informações insuficientes.

4.1.2. Notícias

A Plataforma permite também a submissão e o gerenciamento das notícias da sua interface inicial, que, por sua vez, funciona como uma vitrine de divulgação da metodologia PBL. Na Figura 5 é apresentada a funcionalidade Submissão de Notícia e a interface inicial.

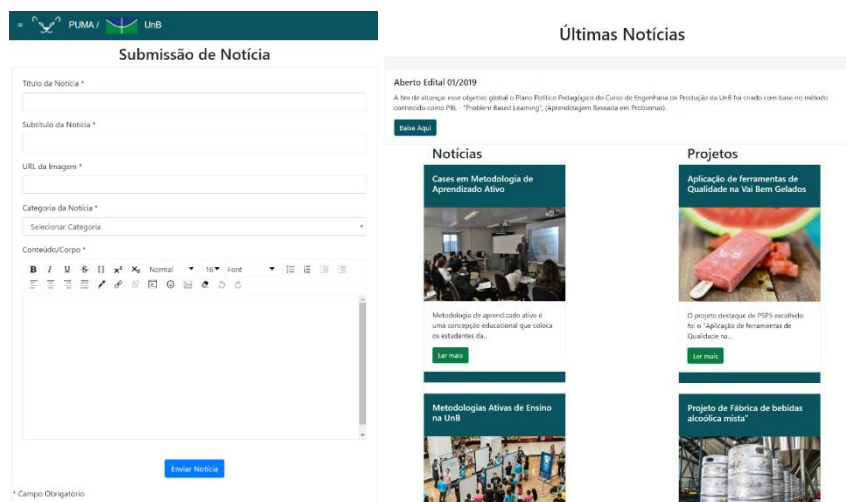


Figura 5 – Funcionalidade Submissão de Notícia e parte da interface inicial

A funcionalidade Submissão de Notícia é responsável por alimentar a interface inicial da Plataforma, que serve como meio de divulgação e promoção da abordagem PBL utilizada nas disciplinas. Ela possibilita a divulgação dos melhores projetos desenvolvidos pelos alunos, de informações sobre as disciplinas de PSPs, de reportagens sobre a adoção do PBL no curso de EPR da UnB, de depoimentos dos stakeholders e do edital de abertura do processo de submissão de projetos.

4.1.3. Avaliação dos Pares

Os projetos são desenvolvidos em equipe, e considera-se a avaliação das competências transversais dos alunos, além das competências técnicas. Essas competências individuais são avaliadas pelos pares. A Plataforma visa automatizar o processo da avaliação dos pares (do inglês, *peer review*), de forma que cada integrante, de uma equipe responsável por um projeto submetido na Plataforma, pode avaliar os outros membros. É apresentada a funcionalidade Manter PEER na Figura 6.

Manter PEER

Ativação Competência		Ação	
<input type="checkbox"/> Comunicação		<input type="checkbox"/> Ver itens	
Ativação	Sub-itens	Descrição	Ação Pesos
<input type="checkbox"/>	Tempestividade das informações	- Presta, com diligência, os esclarecimentos que forem solicitados? - Mantém a equipe/orientador informado sobre a situação de cada resultado, permitindo o acompanhamento das tarefas? - Justifica com antecedência eventual falta ou atraso de reuniões?	<input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/>	Meios de	- Utiliza os meios de comunicação e ferramentas disponíveis de modo a facilitar todo o processo com a equipe (indica de qual rede social)?	<input type="checkbox"/>

Figura 6 – Funcionalidade Manter PEER

A funcionalidade Manter PEER possibilita a inclusão, alteração e exclusão de itens a serem utilizados nas avaliações transversais dos PSPs, servindo de insumo para o acompanhamento do desempenho e da evolução das competências dos alunos ao longo das disciplinas. Os professores podem incluir pesos diferentes para cada competência, de acordo com que ele julgar importante à temática apresentada na sua disciplina.

Essa funcionalidade é importante para captação de dados para geração de relatórios e gráficos do histórico e evolução dos alunos durante as disciplinas PSPs. Por exemplo, os alunos podem acompanhar a sua evolução quanto a competência liderança.

5. Desenvolvimento multidisciplinar da Plataforma PUMA

Durante o desenvolvimento multidisciplinar da Plataforma, ocorreram diversas práticas de colaboração e compartilhamento de experiências entre os participantes, a saber: reuniões constantes com troca de conhecimento sobre as tecnologias empregadas, discussões para soluções de problemas, compartilhamento de cursos e trabalhos presenciais em conjunto.

Diante desse contexto, foi aplicado de forma online e anônima o instrumento apresentado no Quadro 1, objetivando avaliar a experiência da equipe em participar do processo de desenvolvimento multidisciplinar da Plataforma Puma formado por três áreas da engenharia: Software, Produção e Computação. As vantagens e desvantagens elencadas pela equipe por meio da Questão 1, foram consolidadas no Quadro 2.

Vantagens	Desvantagens
Abre horizontes para uma experiência mais próxima do mercado, onde é preciso trabalhar com pessoas de conhecimentos diferentes.	Desnívelamento de conhecimento acerca do processo de desenvolvimento de software, causando atraso no início da criação do produto.
Possibilidade de separar melhor as atividades entre a equipe, pois pode-se utilizar o critério área de conhecimento.	Dificuldade de comunicação, devido a diferentes formas de linguagem e compreensão, pois pode ser diferente dependendo de cada área de atuação.
Aplicação de práticas específicas de cada área, agregando, assim, mais valor ao produto.	Necessidade de explicar partes técnicas em reuniões para o conhecimento de todos, fazendo as reuniões serem prolongadas.
Maior colaboração e troca de conhecimento.	
Conhecimento completo para o desenvolvimento da Plataforma, sem a necessidade de um membro externo.	
Ter diferentes formas e perspectivas de visualizar um mesmo problema;	
Adquirir conhecimentos de outras áreas de conhecimentos.	

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens identificadas pela equipe ao trabalhar em um projeto multidisciplinar

A equipe identificou muitas vantagens do trabalho interdisciplinar realizado até então, sendo elas relacionadas a uma maior aprendizagem e colaboração, aquisição e troca de conhecimento, experiência de mercado, divisão de tarefas, aplicação prática de diversas áreas, atribuição de valor ao produto e capacidade de resolução de problemas. As desvantagens listadas foram relacionadas ao desnivelamento de conhecimento entre os membros da equipe do projeto, pois faltava inicialmente alguns conhecimentos do desenvolvimento de software que não era disseminado entre todos os membros.

Quando perguntado sobre a experiência em relação a produtividade, na Questão 2, a maioria da equipe afirmou ter tido uma experiência positiva, tendo apenas um membro afirmado o contrário, afirmando que inicialmente a produtividade foi abaixo do esperado, tendo como principal motivo a diferença de experiência de desenvolvimento de software entre os integrantes da equipe, fato que foi melhorando ao longo do projeto devido a colaboração e troca de conhecimento.

As respostas quanto às Questões 3 e 4, comprovam que o fato de ter colegas de outras áreas trabalhando de forma conjunta, contribuiu para a equipe adquirir novos conhecimentos e, assim, impulsionar a sua aprendizagem. Os integrantes da equipe afirmaram que buscaram adquirir, por influência do projeto, alguns conhecimentos como: modelagem de banco de dados, arquitetura e desenvolvimento de software, tecnologias emergentes, linguagens de programação e gestão de projetos.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

O estudo teve como objetivo apresentar a Plataforma PUMA, ressaltando as suas funcionalidades implantadas, o seu processo de desenvolvimento e a aprendizagem adquirida pela equipe de desenvolvimento. Esse objetivo foi atingido, visto os resultados apresentados no decorrer deste trabalho. A revisão da literatura serviu de base para toda a pesquisa, principalmente na elaboração do instrumento de avaliação da aprendizagem dos alunos envolvidos na criação da Plataforma.

Espera-se manter uma equipe multidisciplinar durante o desenvolvimento da Plataforma, mantendo-se as práticas de colaboração e compartilhamento de experiências entre os alunos. A importância dessa multidisciplinariedade está na eficácia de seu desenvolvimento, permitindo que os desenvolvedores trabalhem em conjunto com o gestor do negócio, e isso propicia a junção de conhecimento das três áreas para obtenção de um software de melhor qualidade, com um processo de aprendizagem enriquecedor para os seus participantes. Esses resultados ratificam o que foi apresentado no referencial teórico da pesquisa.

A plataforma PUMA continua em desenvolvimento, seguindo o cronograma estabelecido pelo programa A3M da UnB, com o prazo de término previsto para término em novembro de 2019.

Pretende-se em trabalhos futuros, apresentar as funcionalidades restantes da Plataforma, como, por exemplo, a funcionalidade Realizar Avaliação que está em desenvolvimento, com o intuito de apoiar a avaliação dos projetos. Por fim, espera-se que uma vez concluída a Plataforma, os resultados sejam disponibilizados a todos os usuários, aumentando a interação entre os alunos, professores e os stakeholders, sejam eles empresas ou pessoas

físicas. Porém, ressalta-se que há diversos perfis que a plataforma deve admitir, a saber: Aluno, Professor e Stakeholder. Esses perfis devem ter acesso a aspectos distintos da plataforma, como, por exemplo, os professores que vão avaliar devem ter um campo de comentários e as empresas devem ter uma área específica para visualizar esses comentários a respeito dos seus projetos.

Referências

- Allison, B. T., Ludwick, S., & Birmingham, W. P. (2012). A Mechatronics Capstone Project with an Interdisciplinary Team and an Industrial Partner. In *American Society for Engineering Education*. American Society for Engineering Education.
- Anderson, R. E., Anderson, R. J., Borriello, G., & Kolko, B. (2012, October). Designing technology for resource-constrained environments: Three approaches to a multidisciplinary capstone sequence. In *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings* (pp. 1-6). IEEE.
- Babic, J., Slivar, I., Car, Z., & Podobnik, V. (2015, July). Prototype-driven software development process for augmentative and alternative communication applications. In *2015 13th International Conference on Telecommunications (ConTEL)* (pp. 1-8). IEEE.
- Balthazar, J. C., & da Silva, J. M. (2010, July). A Aprendizagem Baseada em Projeto no Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília. In *Second Ibero-American Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE'2010): Creating Meaningful Learning Environments* (pp. 141-144).
- Barbosa, M. W., Nelson, M. A. V., & Alonso, E. (2012). Experiências de um Trabalho Interdisciplinar Orientado por um Processo de Gerência de Projetos em um curso de Sistemas de Informação. *FEES/SBES-Fórum de Educação em Engenharia de Software-Simpósio Brasileiro em Engenharia de Software*. Natal-RN.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). *Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning*. *Educational psychologist*, 26(3-4), 369-398.
- Chichernea, V. (2016). Campus information systems for enhancing quality and performance in a smart city high education environment. In *Conference proceedings of eLearning and Software for Education «(eLSE)* (No. 01, pp. 50-56). "Carol I" National Defence University Publishing House.
- Companha de Planejamento do Distrito Federal (Codeplam) (2018). *Aspectos Econômicos do Distrito Federal*. Texto para discussão.
- Diaz, F. C., & Alvarez, M. K. (2018). *Use of digital image in the pedagogical process at the University*. *ATENAS*, 2(42), 92-107.
- Farinango, C. D., Benavides, J. S., Cerón, J. D., López, D. M., & Álvarez, R. E. (2018). Human-centered design of a personal health record system for metabolic syndrome management based on the ISO 9241-210: 2010 standard. *Journal of multidisciplinary healthcare*, 11, 21.

- Ford, J., Langley, C., Molyneux, A., & Shelton, C. (2016). Developing a CTG simulator app: theory and practice. *The clinical teacher*, 13(6), 432-436
- Hamiti, M., Reka, B., & Baloghová, A. (2014). Ethical Use of Information Technology in High Education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 4411-4415.
- ISO 31010 (2012). *Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos*.
- Iturbe, C. B., & Pelayo, J. M. C. (2010). Improving the learning process through problem based learning (PBL) in materials engineering technology. In *Edulearn 10. International conference on Education and New Learning Technology* (Barcelona, 5-7 de julio de 2010) (pp. 3395-3400).
- Kudumovic, M., Kudumovic, D., Kudumovic, L., Huremovic, E., & Mesanovi, N. (2009). Information communication technologies (ICT) and use of the internet related information at university of bosnia and herzegovina. *Technics technologies education management-ttem*, 4(1), 33-37.
- Marco, J. L. A., Pinilla, A. A., Albalade, M. T. L., & Lado, R. T. (2017). Virtual USATIC: A totally on-line conference to share good practices and experiences using ICT on Higher Education. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Higher Education Advances* (pp. 1067-1074). Editorial Universitat Politècnica de València.
- Monteiro, S. B. S., Reis, A. C. B., Silva, J. M., & Souza, J. C. F. (2017). A Project-based Learning curricular approach in a Production Engineering Program. *Production*, 27(spe), e20162261. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.226116>
- Musalem, A. M. (1995). *A Multimedia1 Database System Managing a Virtual Collection of Art and Architectural Works*.
- Romanovs, A., Soshko, O., Lektauers, A., & Merkuryev, Y. (2009, September). Application of information technologies to active teaching in logistic information systems. In *East European Conference on Advances in Databases and Information Systems* (pp. 23-30). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Silveira, D. T. Córdova. FP (2009). *A pesquisa científica. Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 31-42.
- Taajamaa, V., Kirjavainen, S., Repokari, L., Sjöman, H., Utriainen, T., & Salakoski, T. (2013, December). Dancing with Ambiguity Design thinking in interdisciplinary engineering education. In *2013 IEEE Tsinghua International Design Management Symposium* (pp. 353-360). IEEE.
- Torres, J. M. T., Lucena, M. A. H., Marn, J. A. M., Guardia, J. J. R. D., & Soto, A. C. (2015). Analysis-based learning experiences of project: collaborative practices B-Learning. *EDMETIC*, 4(1), 51-77.
- Villa, J. R. (1997, August). Minisat-01 Attitude Control System: System Design and Software Development. In *Data Systems in Aerospace-DASIA 97* (Vol. 409, p. 209).
- Yin, R. K. (2013). *Estudo de Caso: Planejamento e métodos*. Bookman editora.

Análisis de Tiempos Estándar en Empresas de Ensamble como insumo para la toma de decisiones

Daniela Apolo¹, Rodrigo Guamán², Eliezer Colina-Morles³, Alejandra Luzuriaga¹, Lorena Siguenza-Guzman^{4*}

mdaa.18@hotmail.com; rodrigo.guaman@ucuenca.edu.ec; eliezer.colina@ucuenca.edu.ec; lorena.siguenza@ucuenca.edu.ec

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

² Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

³ Centro de Posgrados Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

⁴ Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

Pages: 779–790

Resumen: El sector de la pequeña y mediana empresa ha ido ganando terreno en la producción de bienes y servicios a nivel mundial, creando un ambiente de alta competitividad que obliga a mejorar sus decisiones de incremento de productividad y eficiencia organizacional. Una herramienta muy útil para conseguir estas mejoras es el estudio de métodos y tiempos, orientada a proveer información sobre procesos, tiempos invertidos en operaciones, así como el cálculo y mejoramiento de tiempos estándar para la optimización de procesos y costos. Este trabajo describe un procedimiento para la obtención de tiempos estándar en procesos operacionales, estratégicos y de apoyo en cuatro empresas de ensamble: televisores, tarjetas electrónicas, motocicletas y bicicletas. Los tiempos obtenidos en los procesos operacionales fueron validados mediante comparaciones con resultados reportados en la bibliografía especializada, mientras que los tiempos asociados a procesos administrativos, estratégicos y de apoyo, fueron analizados internamente para los casos de estudio considerados.

Palabras-clave: estudio de tiempos; procesos; tiempos estándar; ensamble; estandarización.

Analysis of Standard-Times in Assembly Companies as support for decision-making

Abstract: The small and medium-sized business sector has been gaining ground in the production of goods and services worldwide, creating a highly competitive environment that forces to improve their decisions to increase productivity and

organizational efficiency. A handy tool to achieve these improvements is the study of methods and times, oriented to provide information about processes, time spent in operations, as well as the calculation and improvement of standard times for the optimization of processes and costs. This article describes a procedure for obtaining standard times in operational, strategic, and support processes in four assembly companies: televisions, printed circuit boards, motorcycles, and bicycles. The times obtained in the operational processes were validated through comparisons with results reported in the specialized literature, while the times associated with administrative, strategic, and support processes were analyzed internally for the case studies considered.

Keywords: Time; processes; standard; assemble; analysis.

1. Introducción

El consumo de productos de las pequeñas y medianas empresas se incrementa en el mercado, por lo que existe una gran competitividad entre éstas, elevando así la necesidad en mejorar la productividad y eficiencia (Ceptureanu, 2015). En muchas empresas, cuando se requiere tomar decisiones sobre el aumentar la productividad, se recurre como primera instancia a la optimización y estandarización de sus procesos. La estandarización lleva consigo un estudio de métodos y tiempos que, con ayuda de la depuración de procesos y obtención de tiempos estándar, produce un incremento en sus indicadores de eficiencia y eficacia. El tiempo estándar (TE) es definido como el tiempo requerido para que en una estación de trabajo, un operario calificado y capacitado, trabajando a ritmo o velocidad normal, elabore un producto específico (Tejada, Gisbert, & Pérez, 2017). Existen varios métodos para calcular TE, como el basado en estimaciones realizadas por analistas, el uso de registros históricos o entrevistas, los sistemas de tiempos predeterminados y los estudios de tiempos con cronómetro, siendo este último el más utilizado. En cualquier caso, el cálculo del tiempo estándar, sin importar el tipo de empresa, se realiza por medio de la fórmula $TE = TN \cdot (1 + \text{suplementos})$ (Meyers & Stewart, 2001). Existen otros métodos basados en teoría de redes para determinar tiempos de producción, como el PERT (Program Evaluation and Review Techniques), referido a técnicas de revisión y evaluación de proyectos (Kreitner & Cassidy, 2012); el CPM (Critical Path Method), conocido como el método de la ruta más crítica que se utiliza para la planificación de proyectos (Arora, 2004); y el diagrama de Gantt, que representa una herramienta gráfica para determinar el tiempo de duración previsto de ciertas tareas (Mundel, 1970).

Así, existen varios métodos de obtención de tiempos y hay coincidencia en cuanto al método de cálculo de tiempo estándar. Sin embargo, en ningún caso se hace mención a un modelo genérico de tiempos que pueda ser aplicado a cualquier empresa como insumo para la toma de decisiones. Bajo este contexto, el objetivo de este artículo es proponer y validar un modelo alternativo de estandarización de tiempos, que sirva de forma general en empresas de ensamblaje. En el análisis, se aborda la estandarización de tiempos de cuatro tipos de productos ensamblados: bicicletas, motocicletas, televisores y tarjetas electrónicas. Aquí, luego de obtener un subproceso genérico, en base a los productos ensamblados, se calcula el tiempo estándar de procesos operacionales, estratégicos y de apoyo. Para comprobar los resultados del método propuesto, se realiza una validación

bibliográfica para los tiempos operacionales y un “benchmarking” interno para los tiempos administrativos.

2. Materiales y métodos

2.1. Casos de estudio

Como punto de partida, esta investigación extiende los resultados obtenidos en el levantamiento de procesos en cuatro casos de productos ensamblados: televisores (Andrade & Elizalde, 2018), tarjetas electrónicas y motocicletas (Benavidez Vera, Segarra Farfán, Colina-Morles, Siguenza-Guzman, & Arcentales-Carrion, 2019), y bicicletas (Castro Cambizaca, Rodas Gavilanes, Colina-Morles, Siguenza-Guzman, & Arcentales Carrión, 2019). Seguidamente, se tomó en consideración, el cálculo de los tiempos estándar de los procesos de cada uno de estos casos. Por razones de confidencialidad, los nombres de las empresas han sido omitidos, así como también, se han asignado códigos a los diferentes modelos de los casos de estudio.

2.2. Metodología

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este estudio es el análisis de la obtención de tiempos basados en estandarización de procesos. Para esto, se utiliza la metodología aplicada en la OIT¹, Organización Internacional del Trabajo (Kanawaty, 1996), en la que primero se define el objeto de estudio, se obtienen los datos necesarios y luego se realiza el cálculo del tiempo estándar.

En el modelo, para la definición del objeto de estudio y obtención de los datos necesarios, se determinaron los procesos y sub-procesos genéricos, tanto de ensamblaje (operacionales) como estratégicos y de apoyo. Por limitaciones de espacio, solo se detallarán a profundidad los subprocesos de ensamblaje relativos a pre-alistamiento, ensamblaje, control de calidad y producto terminado (PT) y empaque.

El cálculo de TE, para el caso de los procesos de ensamblaje, se realizó a través de los siguientes pasos: recolección de tiempos, elaboración de fichas de tiempos, cálculo del tiempo estándar y simulación del modelo general de procesos de ensamblaje. De esta manera, se colectaron todos los datos necesarios para calcular el tiempo estándar, que correspondieron a los tiempos resultantes en los estudios realizados por Guerrero (2018), Ramírez et al. (2020), y Rodas et al. (2019). Luego, se agruparon los tiempos de las actividades correspondientes a cada subproceso de los diferentes productos. Para el cálculo del tiempo estándar, al contar cada producto con diferentes modelos, se obtuvo la media entre los mismos, resultando un tiempo representativo para cada subproceso con su dispersión asociada. Finalmente, se diagramó el proceso y los sub-procesos de los diferentes productos, y se introdujeron sus respectivos tiempos de procesamiento en la versión libre de la herramienta Bizagi², que utiliza la notación BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation). Adicional a esto, con la herramienta fue posible definir

¹ <https://www.ilo.org>

² <https://www.bizagi.com/>

una distribución estadística para ajustar los datos y se calculó la desviación estándar para verificar si los datos correspondían a una distribución normal.

Para el caso de los procesos estratégicos y los procesos de apoyo, la obtención de tiempos no se basa en una simulación, ya que estos procesos se llevan a cabo por departamentos que no necesariamente son secuenciales y que operan en forma independiente. La metodología utilizada en este caso se fundamenta en otra metodología llamada ITIL (Information Technology Infrastructure Library), que es un conjunto de mejores prácticas y estándares en procesos donde se definen los procesos requeridos para la gestión eficiente y efectiva de los Servicios de Tecnologías de Información, TI, dentro de una organización (Pieper y van der Veen, 2005). En esta metodología, primero se obtiene una base de datos en la que se integra la información relevante de la empresa; después, se hace la relación entre los procesos para manejar a la empresa de forma integral y un modelo estándar útil en cualquier organización (Office of Government Commerce Großbritannien, 2007). Es decir, el procedimiento inicia con la elaboración de una matriz donde consta el producto, tipo de proceso, departamento, subproceso, actividades y tiempos; para de esta manera, tener los datos necesarios en forma estructurada. Para un buen manejo de la información de la matriz, se trabaja con un procesador de datos que permite filtrar cada uno de los departamentos pertenecientes a cada producto, con sus respectivos subprocesos y actividades. Se sigue el criterio según el cual, un subproceso común en más de un producto de los cuatro estudiados, se considera un subproceso genérico, es decir, un subproceso general en la mayoría de estos productos. Se escoge el condicional " $x > 1$ ", debido a que se toma como proceso común al que se repite en al menos dos productos. En cambio, las actividades de cada subproceso común, se agrupan de manera de respetar la secuencia de las mismas y considerando que sean comunes. Obtenidos los subprocesos comunes, se toman las actividades correspondientes de cada subproceso perteneciente a cada empresa. Para obtener el tiempo estándar de estas actividades, se procede a calcular el promedio entre los tiempos de las actividades comunes, tomando en cuenta la secuencia de las mismas. En el caso de los tiempos estándar de los subprocesos genéricos, se integran los tiempos estándar de las actividades correspondientes a ese subproceso. Al igual que en los procesos operacionales, se calcula la desviación en cada caso para luego comprobar que los datos se ajustan a una distribución normal.

3. Resultados

Luego de realizar la simulación del proceso de ensamblaje en la herramienta seleccionada y de ejecutar los respectivos cálculos de los tiempos de los procesos estratégicos y de apoyo, se obtuvieron los tiempos estándar de los subprocesos en cada caso.

3.1. Análisis de tiempos estándar del proceso de ensamble

La Tabla 1 muestra los tiempos estándar del proceso de ensamblaje de cada producto. Para estos tiempos se hizo una comparación con casos bibliográficos de productos afines a los de este estudio.

Proceso	Sub-proceso	Televisores		Tarjetas Electrónicas		Motocicletas		Bicicletas	
		Tiempo Sub-proceso (min)	Tiempo Proceso (min)	Tiempo Sub-proceso (min)	Tiempo Proceso (min)	Tiempo Sub-proceso (min)	Tiempo Proceso (min)	Tiempo Sub-proceso (min)	Tiempo Proceso (min)
Pre-alistamiento	Desempacar	42,09	42,09	119,77	119,77	35,63	41,9	0,90	0,90
	Clasificar y ordenar					6,27			
Ensamblaje	Armar partes	4,1	7,89	4,38	4,38	50,78	127,59	59,06	203,55
	Colocar accesorios	2,8				60,77		139,55	
	Conectar sistema eléctrico	0,99				8,54			
	Conectar sistema mecánico					2,58			
	Conectar sistema de freno					4,92		4,94	
Control de calidad de PT	Probar funciones y especificaciones	0,98	118,97	2,76	2,76	1,87	28,52	9,08	9,08
	Revisar producto	117,75				23,32			
	Llenar ficha de control de calidad	0,24				3,33			
Embalaje y empaque	Colocar plástico y cartón	51,12	51,62	0,32	0,51	7,56	10,16	2,22	3,42
	Trasladar a bodega PT	0,5		0,19		2,6		1,2	

Tabla 1 – Tiempos estándar del modelo general de ensamblaje

Caso Motocicletas

Se toma como referencia el caso 1, sobre la mejora de la línea de ensamble de una empresa de motocicletas (Cedeño, 2016). Esta empresa ensambla siete modelos de motocicletas y su proceso de ensamble empieza por el desempaque de las piezas y la colocación de las mismas en diferentes niveles de estantes móviles. Luego, se procede con el pre-ensamble en el que se arma determinadas partes de las motos. Una vez realizado el pre-ensamble, que no interfiere con otras actividades, se pasa a la línea de ensamble que consta de cinco puestos de trabajo. También se consideró el caso 2, reportado por Reyes (2014), sobre mejoras en el ensamble de motocicletas de otra planta que produce 32 modelos diferentes, que vienen con un pre-ensamble de fábrica. En esta planta solo se colocan las piezas finales para armar completamente la motocicleta. El ensamblaje, inicia con el desempaque de las piezas pre-ensambladas y continúa con el ensamble de las piezas faltantes, en un trabajo por lotes de producción donde cada operario arma una motocicleta completa sin división del trabajo. Al final, se realiza una prueba de calidad y se llena una ficha de control de calidad. La Figura 1 muestra la comparación de los tiempos del modelo de motocicletas con los dos casos bibliográficos. En lo que respecta

a la comparación de tiempos, en el primer caso el error es bajo para el sub-proceso de ensamblaje con un 16%, pero aumenta para el pre-alistamiento con un 63% y en el segundo caso en los dos subprocesos se obtiene un error alto del 71%.

Caso Bicicletas

El caso 3 trata sobre la planeación y control de la producción en una ensambladora de bicicletas (Patiño, 2010). La empresa produce ocho modelos a través de una línea de ensamble. El proceso inicia con el suministro de piezas, seguido de sus ensambles, para finalizar con el almacenamiento del producto terminado. La Figura 2 compara los tiempos del modelo estudiado y el caso bibliográfico. El tiempo del sub-proceso de ensamblaje no varía mucho, existe un error del 15%; diferentemente, en el sub-proceso pre-alistamiento, el tiempo del caso es mucho mayor al del modelo de bicicletas. Conforme a lo concluido por Castro et al. (2019), solo se analizaron estos subprocesos debido a que son considerados críticos para el presente estudio. Adicionalmente, los tiempos que se muestran en la bibliografía consultada provienen de los mismos subprocesos de pre-alistamiento y ensamblaje.

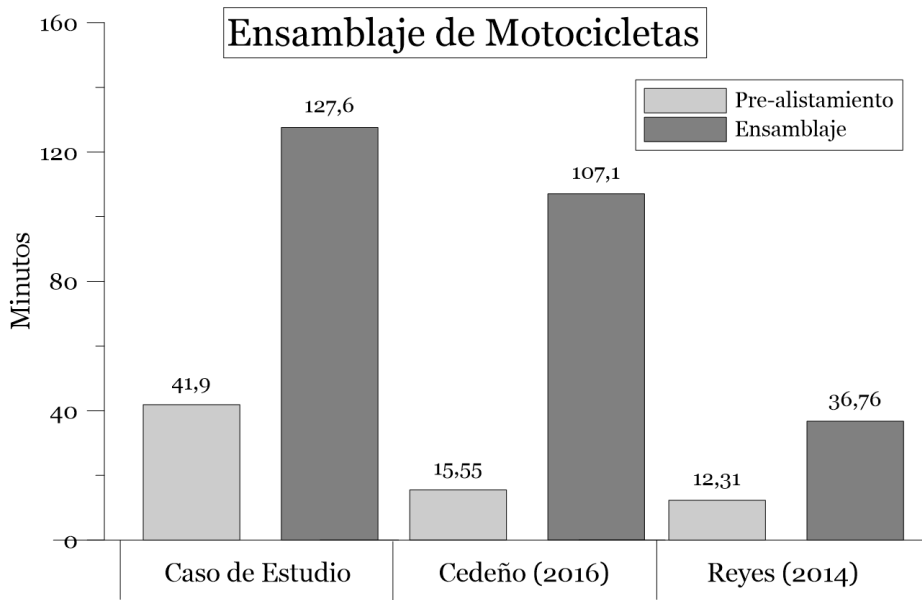


Figura 1 – Comparación de los tiempos estándar de motocicletas del presente estudio y los dos casos bibliográficos

3.2. Análisis de los tiempos estándar de los procesos estratégicos y de apoyo

En el caso del modelo genérico de procesos estratégicos y procesos de apoyo, se realizó una comparación de los tiempos estándar de los sub-procesos comunes entre los cuatro productos de estudio, como se muestra en la Tabla 2, en la que se observa que el producto que más difiere en los tiempos es el de televisores.

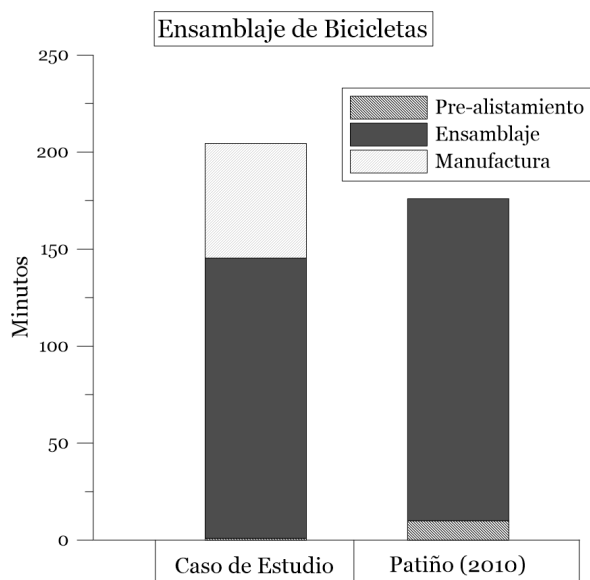


Figura 2 – Comparación de los tiempos estándar de bicicletas.

Proceso	Departamento	Subproceso	TE (min)			
			Bicicletas	Motocicletas	TVs	Tarjetas Electrónicas
De Apoyo	Cartera, Crédito y Cobranzas	Aprobación de pagos al contado	8,00	7,83	16,76	7,83
		Aprobar cruce de cuentas con proveedores	606,00	15,00	30,38	315,00
		Cambio de fecha de cheques	10,00	10,83	27,38	10,83
		Control de Subordinados	13,00	13,16	15,76	13,16
		Recepción de cheques	29,00	29,00	12,76	29,00
	Contabilidad	Análisis de Materia Prima	89,00	90,16	295,15	78,00
		Autorizar anulación de facturas, comprobantes de retención, notas de débito y notas de crédito	34,00	33,66	34,76	35,66
		Control de criterios contables	121,00	120,66	121,76	120,66
		Determinación de Costos	477,00	127,16	177,76	127,16
		Elaboración informe de sueldos	37,00	41,75	33,50	26,83
		Preparar Balances Mensuales para Directorio	239,00	238,50	240,15	238,50
		Elaboración de Asiento Contable para cierre de Inventarios	18,00	20,91	29,50	4,50
	Finanzas	Alimentación de cuentas	10,00	10,00	62,38	10,00
		Depósitos en remesas	67,00	69,16	149,16	69,16
		Solicitud de certificados bancarios	3,00	3,00	17,83	3,00

Proceso	Departamento	Subproceso	TE (min)			
			Bicicletas	Motocicletas	TVs	Tarjetas Electrónicas
Estratégico	Talento Humano	Capacitación	1245,00	1145,00	190,00	1145,00
		Evaluación de desempeño a trabajadores	1320,00	1420,00	124,66	1420,00
		Ingreso de trabajadores al sistema	308,00	144,41	333,83	144,41
		Reclutamiento	650,00	702,50	404,73	702,50
		Selección y contratación	1000,00	1171,66	490,00	1171,66

Tabla 2 – Comparación de tiempos estándar de los procesos administrativos

4. Discusión

Es conocido que las tecnologías facilitan el día a día del ser humano y cada vez aumenta la dependencia hacia ellas. En las instalaciones industriales no es diferente y paulatinamente van incluyendo tecnologías en sus procesos y toma de decisiones para mejorar su productividad. Como ejemplo se tiene el uso de los datos masivos, el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas integrados, la Ciberseguridad que, junto a la fabricación aditiva, la realidad virtual y la sensorización de los sistemas propenden al diseño de métodos innovadores que conducen a lo se conoce como Industria 4.0. Uno de los objetivos principales de esta modalidad es la producción simultánea de una amplia gama de productos en el menor tiempo posible; es decir, introducir nuevas tecnologías para conseguir más rápida y efectivamente la realización de tareas (Barros, 2017). Esto también se puede conseguir con la utilización de modelos estándar que indiquen los tiempos necesarios para tareas específicas y se puedan aplicar de forma rápida sin la necesidad de realizar estudios de tiempos previos.

Los tiempos del modelo genérico de procesos de ensamblaje realizado en el presente estudio tienen similitudes y diferencias a los de los casos bibliográficos consultados. Si se comparan los tiempos de la parte de motocicletas del modelo con los tiempos del caso 1 propuesto por Cedeño (2016), existe una gran diferencia en el subproceso de pre-alistamiento, lo que indica que es mejor realizar el pre-alistamiento de forma independiente al ensamble en sí, como se realiza en la bibliografía, que lo efectúa en menos tiempo comparado al modelo genérico. Es decir, todo el ensamblaje de las motocicletas del modelo, incluido el desempaque, se realiza en celdas de trabajo, a diferencia de la bibliografía que realiza primero el desempaque de las piezas y luego se realiza el ensamble en una línea de trabajo. En cambio, en el caso 2, presentado por Reyes (2014), el error es alto en los dos subprocesos. La diferencia es elevada a causa de que en la empresa reportada en la bibliografía las partes ya vienen pre-ensambladas de fábrica y en la empresa solo se colocan las partes finales disminuyendo el tiempo de ensamble. Por ejemplo, el motor ya viene armado y ensamblado al chasis y además se realiza el mínimo de conexiones eléctricas posible. De forma diferente ocurre en el modelo de caso de estudio, ya que se realizan más actividades de ensamble de partes incluyendo las conexiones del motor y las conexiones de frenos. Comparando la modalidad de producción del modelo de motocicletas con el de este caso bibliográfico es

muy diferente, ya que en el modelo se realiza en celdas de trabajo donde existe división del trabajo en actividades, en cambio en la bibliografía no existe ninguna división, el operario arma toda la motocicleta de forma individual.

Al comparar el caso bibliográfico de Patiño (2010) con el modelo de bicicletas del caso de estudio, se puede decir que, al ser el tiempo del pre-alistamiento del caso bibliográfico mucho mayor, es mejor solo abrir las cajas, sacar las partes y ensamblar enseguida como se realiza en el modelo; y no ubicarlas de forma ordenada para su posterior ensamble que conlleva más tiempo. El proceso productivo del modelo a más del ensamble incluye manufactura de algunas partes como los cuadros o la estructura, caso contrario, pasa en el caso bibliográfico donde solo existe ensamble de piezas.

El modelo de tiempos de motocicletas y bicicletas validado, puede servir al inicio como referencia en empresas de ensamble de estos productos. Pero cuando se busque resultados más exactos se deberá realizar un análisis previo del tipo de empresa en que se aplicará, puesto que se requiere de empresas con procesos productivos similares a los del proyecto. Por ejemplo, empresas con producción en forma de celdas de trabajo, en el caso de las motocicletas, y empresas con una manufactura inicial y una línea de ensamble final, en el caso de bicicletas.

En el caso de los procesos estratégicos y de apoyo, al realizar una comparación interna entre los cuatro casos de estudio (Figura 3) se tiene mayores similitudes principalmente con los productos motocicletas y tarjetas electrónicas, pero no con el producto televisores. En los procesos de apoyo, hay tres departamentos que comparten subprocesos en los cuatro casos de estudio. El primero, es el Departamento de Cartera, Crédito y Cobranzas, donde el sub-proceso de aprobar cruce de cuentas con los proveedores tiene una significativa diferencia entre los tiempos, como se observa en la Figura 3a. El tiempo de las bicicletas duplica al de las tarjetas electrónicas, aun teniendo actividades similares. Esto se debe a que la empresa de bicicletas es más grande que la de tarjetas electrónicas, por lo que existen más proveedores y como consecuencia, aumenta el tiempo de procesamiento.

Al visualizar la Figura 3b, se identifica que el Departamento de Contabilidad tiene más variedad entre los tiempos de los cuatro casos de estudio. Por ejemplo, en el sub-proceso determinación de costos, el tiempo es tres veces mayor en las bicicletas, pero se tienen actividades semejantes en los cuatro productos. En este producto se tiene en cuenta el tiempo de espera; es decir, el tiempo que se demora el encargado en recibir la información necesaria para realizar el proceso. En el sub-proceso elaboración de informe de sueldos, el tiempo varía un poco en el producto tarjetas electrónicas, aunque se tienen actividades similares. Esto tiene que ver con el tamaño de la empresa, ya que al tener menor cantidad de empleados se tiene que hacer menos informes y así, el tiempo es menor. Algo similar ocurre con el sub-proceso elaboración de asiento contable para cierre de inventarios, pues el tiempo sigue siendo menor en el producto de tarjetas, ya que en esta empresa se llevan menos inventarios y éstos son pequeños comparados a los de las demás empresas.

En el caso del Departamento de Finanzas pasa algo diferente, los tiempos de los subprocesos comunes son muy parecidos entre los tres productos, menos en los televisores, como se representa en la Figura 3c.

Finalmente, en la Figura 3d están graficados los subprocesos del Departamento de Talento Humano, donde ocurre algo similar al Departamento de Finanzas. Existen cuatro sub-

procesos donde los tiempos se asemejan en los tres productos, excluyendo a los televisores. Solo hay un sub-proceso, ingreso de trabajadores al sistema, en el que el tiempo de las bicicletas duplica a los tiempos de motocicletas y tarjetas electrónicas, que como en el sub-proceso de determinar costos, se toma en cuenta el tiempo de espera de información.

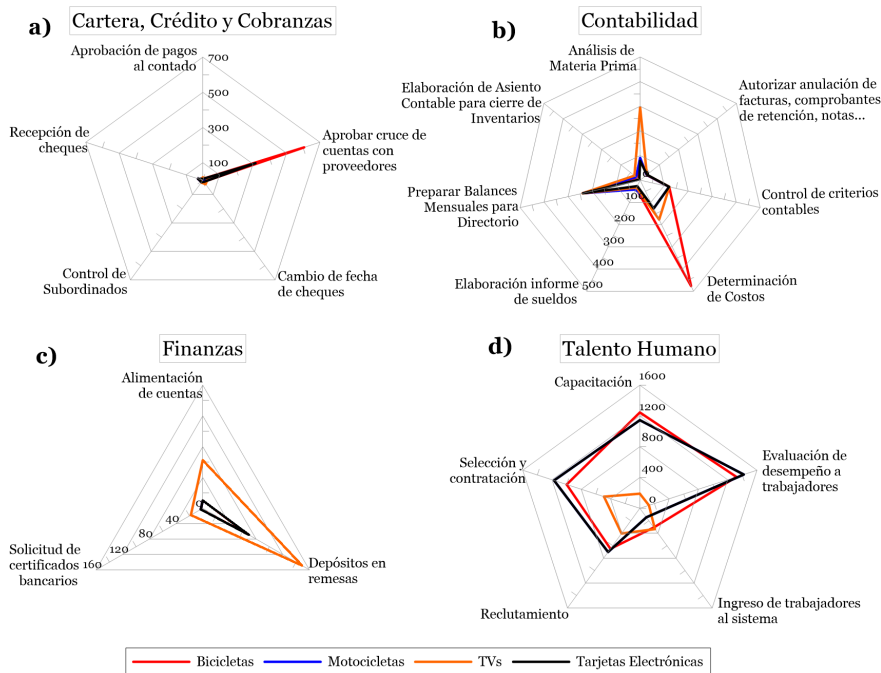


Figura 3 – Comparación interna de departamentos entre los casos de estudio. a) Departamento de Cartera, Crédito y Cobranzas. b) Departamento de Contabilidad. c) Departamento de Finanzas. d) Departamento de Talento Humano.

5. Conclusiones

Mediante el presente artículo se hizo un análisis de la metodología de obtención de tiempos basados en estandarización de procesos como soporte a la toma de decisiones. También se realizó una validación bibliográfica para los procesos operacionales y una comparación de tiempos para los procesos administrativos. Las empresas estudiadas en el proyecto y las de los casos bibliográficos consultados tienen procesos comunes, pero en lo que respecta a los tiempos existen tanto similitudes como diferencias. Realizando una comparación micro de los procesos operacionales, es decir, los modelos específicos de los productos con los casos bibliográficos respectivos, generalmente el error es bajo en el ensamble, pero aumenta en el pre-alistamiento, principalmente a causa de la modalidad de producción. De la comparación realizada entre los tiempos de los procesos estratégicos y de apoyo, se puede deducir que en los departamentos y los sub-procesos analizados las actividades son muy parecidas en los cuatro casos, pero los tiempos varían

primordialmente por el tamaño de la empresa. De forma adicional, los tiempos varían con respecto al caso de televisores con diferencias mayores al 100%.

El modelo de tiempos basados en estandarización de procesos analizado en este trabajo puede servir según las circunstancias que se tengan en cada empresa. Esto significa que hay que analizar primero a la empresa donde se desea aplicar el modelo y determinar si tiene condiciones similares a los casos estudiados en este trabajo, ya que cada empresa tiene diferentes factores que las caracterizan y las diferencian unas de otras. Por ejemplo, para el caso de los procesos de ensamblaje se plantea el análisis desde un enfoque por modalidad de producción y para los procesos administrativos desde una perspectiva de tamaño de empresa.

Como alcance en este estudio se analizó a profundidad únicamente los productos motocicletas y bicicletas en el caso de los procesos de ensamblaje, dejando la validación de los productos televisores y tarjetas electrónicas para investigaciones futuras con otros casos bibliográficos. También, para posteriores investigaciones se invita a tomar de base este estudio para categorizar los procesos y tiempos de empresas de ensamblaje por modalidad de producción, en el caso de los procesos operacionales, y agrupar por tamaño de empresa en el caso de procesos administrativos.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto “Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamblaje”, ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos, financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca. Los autores agradecen a los directivos de las empresas casos de estudio, así como brindar un especial agradecimiento a los miembros del equipo del proyecto.

Referencias

- Andrade, E., & Elizalde, B. (2018). *Levantamiento de procesos de ensamblaje de televisores para la empresa Suramericana de motores Motsur Cia. Ltda* (Tesis (Pregrado), Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29718>
- Arora, K. C. (2004). *Production and Operations Management*. Firewall Media.
- Benavidez Vera, E. X., Segarra Farfán, E. M., Colina-Morles, E., Siguenza-Guzman, L., & Arcenales-Carrion, R. (2019). Levantamiento de procesos como base para la aplicación de sistemas de costeo basado en actividades en empresas de ensamblaje. *Revista Economía y Política*, 30, 40–71. <https://doi.org/10.25097/rep.n30.2019.03>
- Castro Cambizaca, J., Rodas Gavilanes, J., Colina-Morles, E., Siguenza-Guzman, L., & Arcenales Carrión, R. (2019). Levantamiento de procesos en industrias de ensamblaje de bicicletas usando BPMN e ISO. *Libro de Memorias del VI Congreso de la Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrados*, 970–978. Recuperado de <https://www.utn.edu.ec/jornadasinvestigacion/index.php/libro/>

- Cedeño, S. (2016). *Estudio para la mejora de la línea de ensamble de motos de la Empresa Motoindustria S.A.* (Tesis (Pregrado), Universidad de Guayaquil). Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18310>
- Ceptureanu, S. I. (2015). Competitiveness of SMES. *Business Excellence and Management Review*, 5(2), 55–67.
- Guerrero, P. (2018). *Tiempos estándar y modelización de procesos de ensamblaje: Televisores y tarjetas electrónicas usando programación no lineal y BPMN* (Tesis (Pregrado), Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31279>
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio Del Trabajo*. OIT.
- Kreitner, R., & Cassidy, C. (2012). *Management*. Cengage Learning.
- Meyers, F. E., & Stewart, J. R. (2001). *Motion and Time Study for Lean Manufacturing* (Edición: 3 Rev ed). Upper Saddle River, N.J: Pearson.
- Mundel, M. E. (1970). *Motion and time study: Principles and practices*. Prentice-Hall.
- Office of Government Commerce Großbritannien. (2007). *The Official Introduction to the ITIL Service Lifecycle*. The Stationery Office.
- Patiño, L. (2010). *Planeación y control de la producción en bicicletas PATMAR LTDA* (Tesis (Pregrado), Universidad Libre de Colombia). Recuperado de [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9198/TESIS PDF.pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9198/TESIS%20PDF.pdf?sequence=1)
- Pieper, M., & van der Veen, A. (2005). *Foundations of IT service management: Based on ITIL*. Van Haren Publishing.
- Ramirez, J., Guaman, R., Colina-Morles, E., & Siguenza-Guzman, L. (2020). Prediction of standard times in assembly lines using least squares in multivariable linear models. *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*. Aceptado para ser presentado en 1st International Conference on Applied Technologies (ICAT), Quito, Ecuador.
- Reyes Córdova, C. F. (2014). *Propuesta de mejora del método de ensamblaje de motocicletas en una planta de producción guatemalteca*. (Tesis (Pregrado), Universidad Rafael Landívar). Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/02/04/Reyes-Claudio.pdf>
- Rodas, P., Guaman, R., Colina Morles, E., Peña, M., & Siguenza-Guzman, L. (2019). Modelo matemático basado en programación lineal y lógica difusa para predicción de tiempos en industrias de ensamble de bicicletas. *RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información)*, (E19), 581–594.
- Tejada, N., Gisbert, V., & Pérez, A. (2017). Metodología de estudio de tiempo y movimiento; introducción al GSD. *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 39–49.

Tendencias investigativas en simulación de sistemas complejos adaptativos: Un análisis bibliométrico

Juan Camilo Patiño-Vanegas¹, Martha Luz Benjumea-Arias¹, Jhoany Alejandro Valencia-Arias², Luis Fernando Garcés-Giraldo²

juanpatino@itm.edu.co, marthabenjumea@itm.edu.co, jhoanyvalencia@itm.edu.co, lgarcés@americana.edu.co

¹ Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 54 A #30-01, 050013, Medellín, Colombia.

² Corporación Universitaria Americana, Carrera 44 #49-92, 050012, Medellín, Colombia.

Pages: 791–805

Resumen: El análisis bibliométrico es de gran importancia para el ámbito científico y puede ser aplicada a cualquier campo, como los sistemas complejos adaptativos, denominado una de las teorías multidisciplinarias aplicadas para entender diferentes fenómenos y construir modelos para tomar decisiones. El objetivo de este artículo pretende realizar un análisis bibliométrico para describir, evaluar y monitorear datos estadísticos sobre la evolución científica de los sistemas complejos adaptativos desde el modelado. La metodología es cuantitativa, como herramienta se utilizó la base de datos SCOPUS estructurando una ecuación de búsqueda obteniendo 301 resultados que fueron analizados estimando la cantidad de publicaciones, enfoques investigativos, temas emergentes y decrecientes. Entre los resultados encontrados, se puede evidenciar que es una temática que está en crecimiento con un alto interés para la comunidad científica donde ha tenido una mayor aplicación en la simulación de tecnologías de la información, la salud, recursos hídricos y cadena de suministros.

Palabras-clave: Análisis Bibliométrico, Sistemas complejos adaptativos agentes.

Research trends in simulation of adaptive complex systems: A bibliometric analysis

Abstract: Bibliometric analysis is of great importance for the scientific field and can be applied to any field, such as complex adaptive systems, called one of the multidisciplinary theories applied to understand different phenomena and build models for decision making. The objective of this article aims to perform a bibliometric analysis to describe, evaluate and monitor statistical data on the scientific evolution of complex adaptive systems from modeling. The methodology is quantitative, as a tool is the SCOPUS database structuring a search equation obtaining 301 results that were analyzed estimating the amount of publications, research methods, emerging and decreasing topics. Among the results found, it can be evidenced that it is a topic that is growing with a high interest for the scientific community where it has had a greater application in the simulation of information technologies, health, water resources and the supply chain

Keywords: Bibliometric analysis, Adaptive complex systems, agents

1. Introducción

La ciencia es una actividad intelectual que busca entender el porqué de los fenómenos que rodea al hombre, es un esquema organizado a través del conocimiento representado y recopilado en un artículo o medio de divulgación (Milanés Guisado, Pérez Rodríguez, Peralta González, & Ruiz Ramos, 2008). Frente a esto, uno de los pilares fundamentales de la ciencia son las técnicas cuantitativas que se aplican para estudiar su naturaleza y realidad social, tales como: la actividad científica, la cantidad de investigadores, las publicaciones científicas, entre otras que son resultados de una disciplina científica denominada bibliometría, la cual proporciona datos estadísticos sobre una temática en cuanto a su evolución a lo largo del tiempo que dé lugar a publicaciones científicas (López, 1972; Pritchard, 1969).

Según Pritchard (1969) la bibliometría es una su disciplina de la cienciometría que utiliza métodos matemáticos y estadísticos para analizar el curso de la comunicación escrita o literatura de carácter científico, así como los autores que la producen. De acuerdo con Ortiz & Corrêa (2016) el crecimiento de un área del conocimiento debe ser acompañado de estudios que evalúen su producción científica. Por lo tanto, para medir la producción científica se utiliza el instrumento bibliométrico para dar valor a la difusión del nuevo conocimiento y examinar qué impacto tienen las publicaciones en todas las áreas del proceso científico (Escorcia, 2008). Además, puede ser entendida través de datos estadísticos integrando la información entre sí, logrando una interpretación clara asociada a la ciencia y evaluada mediante su producción en revistas, colaboración de autores, centros de investigación, instituciones, foros, entre otros (IEEE, 2013; Joshi, 2014).

Por otro lado, los análisis bibliométricos tienen hoy en día un peso muy relevante para la comunidad científica, dado que se encargan de determinar el estado actual de la situación de diversas áreas de conocimiento (Gómez-García, Ramiro, Ariza, & Granados, 2012). Adicionalmente, es posible identificar la tendencia en el desarrollo del conocimiento y la transformación de una disciplina. Desde esta perspectiva, su uso permite identificar los principales cambios o las características de un tema específico; explorar, organizar y analizar gran cantidad de datos históricos; encontrar patrones no evidentes útiles para el avance de las investigaciones y el desarrollo científico (Granda-Orive et al., 2013; Virgen Ortiz, Cobo Oliveros, & Betancourt Guerrero, 2014)

Basado en lo anterior, los análisis bibliométricos tienen hoy en día un peso relevante para la comunidad científica, dado que se encargan de determinar el estado actual de diversas áreas de conocimiento logrando una interpretación mediante la producción en revistas, colaboración de autores, centros de investigación, instituciones, foros, entre otros (Gómez-García et al., 2012; Joshi, 2014) Además es una disciplina que puede ser aplicada para analizar cualquier temática; como lo son los sistemas complejos adaptativos (CAS, del inglés *Complexity Adaptive Systems*).

Sistemas complejos adaptativos

Un sistema es un conjunto de elementos o partes que interactúan entre sí con el fin de alcanzar un objetivo concreto (Ibrahim, 2019), de esto se puede ejemplificar a los sistemas sociales, la economía y hasta el ser humano, que en su naturaleza física, está compuesto por millones de conexiones hacia el cerebro para coordinar y determinar

las acciones, las decisiones y las emociones (Malavar, Rivera, & Alvarez, 2010). Así como desde la perspectiva de la complejidad, que significa tejido o lo que está unido en un conjunto, que genera acciones, interacciones, retroacciones o determinaciones (Morin, 1992). Desde el punto de vista de Capra (1998) la complejidad se asemeja con la naturaleza de los organismos vivos, que funcionan como un conjunto auto organizados y autor-reproductores donde las partes sólo existen unas para las otras, con la intención de apoyarse mutuamente dentro de un todo funcional.

Entonces, desde el punto de vista de la complejidad un sistema está conformado por múltiples elementos interconectados, donde existe influencias entre los elementos que lo componen, por lo que el cambio experimentado en cada uno repercute o influye en el resto (Holland, 1996). Frente a esto, se puede decir que un sistema es adaptativo, porque tienen la capacidad de cambiar y aprender de varios componentes (Arshad, Maryam, Yasmeen, & Shah, 2018). Los sistemas complejos adaptativos (CAS, del inglés *Complexity Adaptative Systems*) están basados en “agentes” que quiere decir actores o dispositivos de un conjunto que pueden realizar diferentes actividades (Martínez, 2017). O agente “Agente adaptativo” como lo plantea Holland (1996) que puede ser utilizado para referirse a diferentes cosas, como:

- En un ecosistema, los organismos serían los agentes adaptativos. La empresa sería el agente adaptativo de la economía.
- En un sistema político, el ser humano sería el agente.
- En el sistema inmunológico, el agente adaptativo sería el anticuerpo
- Un niño que aprende su lengua materna y una bacteria que desarrolla resistencia a los antibióticos son denominados agentes adaptativos (Gell-Mann, 1995).

Por lo tanto, los sistemas complejos adaptativos son la perspectiva teórica empleada en diversas áreas del conocimiento en la que se fundamenta una amplia cantidad de propuestas (Bohórquez-Arévalo, 2013), como su aplicación en el ámbito de las organizaciones, que se caracterizan como un sistema social abierto y adaptativo, donde interrelacionan diferentes agentes como recursos, personas, tecnologías, y clientes. Dado que todos los sistemas son distintos que a su vez están sujetas a variables del entorno que pueden ser de tipo político, cultural, económico, entre otras; que pueden provocar comportamientos emergentes y dar lugar a cambios, transformaciones o innovaciones (Broenlee, 2007; Goldstein, 1997; Phillips & Ritala, 2019).

2. Metodologia

El estudio realizado es de tipo cuantitativo con el fin de analizar los datos mediante interpretación descriptiva utilizando como fuente de información primaria la base de datos SCOPUS que proporciona datos estadísticas sobre publicaciones de más de treinta mil fuentes (Bancheva, 2019), teniendo en cuenta que como herramienta es útil para realizar actividades científicas y tecnológicas y una de la bases de datos más importantes a nivel mundial, que tiene por objeto recopilar información de diferentes disciplinas representadas en artículos de revista, resúmenes de literatura, congresos, libros entre otros revisada por pares (Bornmann, 2014; Durieux, Pierre, & Gevenois, 2010; IEEE, 2013). Así como también proporciona elementos para gestionar los datos en información que se convierte en un insumo importante para identificar las tendencias emergentes y

decrecientes, los principales expertos y profundizar en el estado del arte para valorar la investigación.

El procedimiento para obtener la información consistió en estructurar una ecuación de búsqueda que permitiera encontrar datos relacionados a las palabras claves objeto de estudio, como sistemas complejos adaptativos y modelos de simulación. Como resultado se obtiene 301 documentos con la siguiente ecuación:

(TITLE (adaptiv* W/1 complex* W/1 system*) AND (TITLE (model* OR simul*) OR KEY (model* OR simul*)))

Luego de obtener los datos, se inicia un proceso de análisis estadístico mediante Excel para sobre analizar la cantidad de documentos publicados, los temas crecientes y emergentes, la dinámica de palabras clave y la identificación de tendencias.

3. Resultados

Cantidad de publicaciones

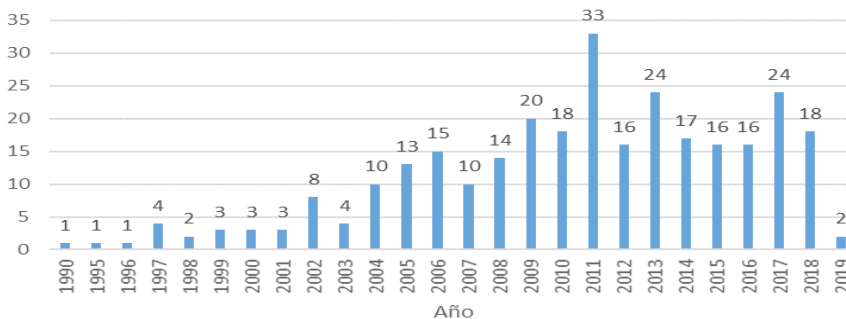


Figura 1 – Grafica de documentos por año

En la figura 1 se relaciona la cantidad de publicaciones científicas entre el año 1990 y 2019 (29 años) donde se puede evidenciar que entre los 10 primeros años la producción científica del tema se comportó de manera constante sin mayores aportes en términos de cantidad con un promedio de 2 publicaciones por año. Para el año 2002 tuvo un incremento significativo de 8 publicaciones, que posteriormente fue aumentando hasta generar un promedio de 15.8% publicaciones durante los 10 años siguientes (2002-2012), entre los cuales se incluye el año con mayor cantidad de publicaciones (2011) con 33 artículos. Para los años siguientes se aumenta el promedio a 18 publicaciones por cada año. Lo que significa que ha tenido un comportamiento incremental.

Publicaciones por área del conocimiento

Los sistemas complejos adaptativos como teoría multidisciplinaria puede ser aplicada para entender diferentes fenómenos a partir del entendimiento de la experiencia y la

codificación del conocimiento para promover buenas prácticas en la toma de decisiones. Entre tanto, las investigaciones relacionadas del tema se concentran en cinco áreas del conocimiento, como las Ciencias computacionales con un 41%, la ingeniería con 22%, seguido de las matemáticas con un 19%, las ciencias sociales con 11% y la medicina en menor proporción con un 7%. Entonces, se puede evidenciar que la temática ha sido aplicada a diferentes campos de estudio

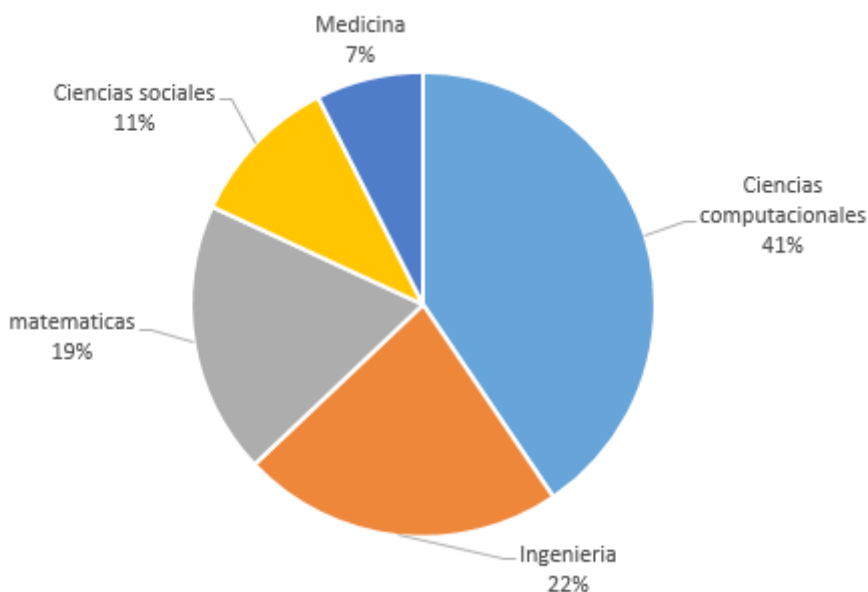


Figura 2 – Publicaciones por área de conocimiento

Por otro lado, con la información encontrada en las publicaciones científicas los países con mayor producción científica en el tema son Estado unidos como el que mayor aporte en el área del conocimiento con 117 publicaciones, seguido por China con 65 publicaciones, Australia con 24, Reino unido con 24, Canadá 14, España 9 y Japón 7. En menor proporción con publicaciones se encuentra Francia, Alemania y Holanda.

Cantidad de publicaciones y citaciones por autor

Entre los 10 autores con el mayor número de publicaciones sobre el modelado de sistemas complejos adaptativos se encuentran: Sage con 6 publicaciones, seguido de Zechman, Small, Handzikadic y Birdsey con 5 publicaciones cada uno. Luego Carmichael 4 publicaciones, y en menos proporción, Giacomoni, Falkner, Duong y Askin con 3 publicaciones cada uno.

Basado en lo anterior, el indicador de cantidad de publicaciones no presenta similitudes con el indicador de cantidad de citaciones por autor, como se puede ver en la figura

3; donde se relacionan los 10 autores con la mayor cantidad de citas en el tema, como: Miller que cuenta con 419 citas, seguido por Holland con 315 y 266 para Macal, North, Ozik, Sydelko respectivamente. Además, Anderson, Greaves, Kumara y Mc Daniel cuentan con 256 citas cada uno.

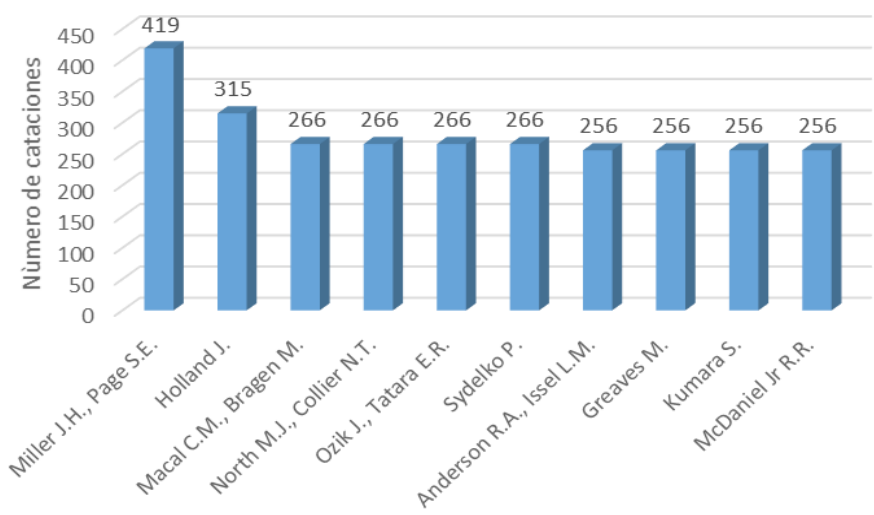


Figura 3 – Gráfica citas por autor

Cantidad de citas por revista

En la figura 4, se relacionan las 10 revistas con la mayor cantidad de citas. Frente a esto, Complex Adaptative System es la de mayor impacto con 419 citas, seguido de la revista International Journal of Production que publica 24 veces al año sobre gestión de la innovación, producción y sistemas logísticos. y la Nursing research enfocada en mejorar la comprensión de todos los aspectos de salud, factores biológicos, comportamientos psicosociales y culturales de la salud. Ambas con 256 citas.

La revista Leadership Quarterly cuenta con 203 citas, y su enfoque esta dado a contribuir al conocimiento organizacional desde varias perspectivas disciplinarias como las ciencias sociales y la psicología. Por otro lado, la revista Quality & safety in health care con enfoque en salud cuenta con 196, citas. En menor proporción esta la revista Environment and Development Economics y Journal of Systems Science and Complexity con 158 citas. Adicionalmente, Journal of Physical Chemistry B con 151, Information Sciences 135 y Ecological Modelling con 131 citas.

Palabras clave

En relación con las palabras clave con mayor relevancia abordada por los autores permite tener una mirada detallada sobre los enfoques investigativos que se han desarrollado frente a los SCA. De esta manera se presenta en la figura 5, las 30 principales palabras

clave de los últimos 12 años (2008-2019). Entre los resultados se puede ver que la palabra Human ha sido la más utilizada. Sin embargo, en el periodo 2012 y 2013 no hubo registro de su utilización, pero desde el año 2015 hasta el 2018 el comportamiento fue creciendo. Frente a esto se puede ver que en los años donde la palabra Human no registro en artículos de investigación otras como Complex Network, Autonomous Agents, Agente-Based Model, Decision Making, Water Managemnt, simultaion, Water supply, inteligencia artificial, entre otras, se utilizaron en la misma proporción. También se puede observar que en el 2011 y 2015 fueron los años donde más del 70% de las 30 palabras fueron aplicadas en documentos encontrados. También, otras palabras que tuvieron aplicación en el tiempo, aunque en menor proporción que “Human” fue Theorical Model y complex Network.

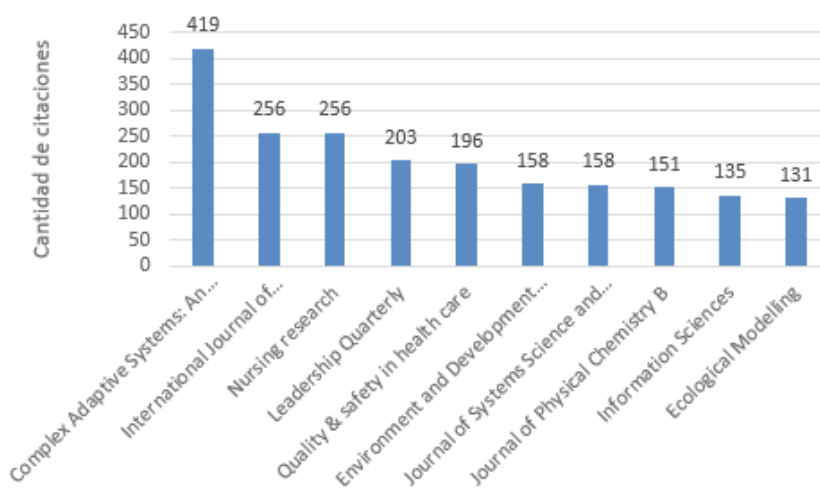


Figura 4 – Gráfica citaciones por revista

Adicionalmente, se evidencia que la presencia de estas en el año 2016 nota una cantidad menor comparado con otros años. Aunque en este mismo año se visualiza la palabra Complex Networ como aquella con mayor enfoque comparado con las demás

Frente a la palabra “Human”, se aborda desde la posición que plantea Song, An, Yang, y Huang, (2012) al manifestar que los agentes, que para este caso son personas cuando interactúan entre sí como un mecanismo de supervivencia para desarrollar una sociedad donde se comparten recursos y riquezas como una actividad de inversión. También, aplicaron el modelo basado en agentes para estudiar el efecto de la eficiencia del mercado y la cercanía con las personas para ayudar a establecer las teorías tradicionales de la economía y las finanzas. Llevando a cabo una serie de experimentos humanos asistidos por computadora para confirmar las observaciones experimentales y revelar el mecanismo de riesgo retorno. Así mismo, Shi et al (2011) analiza las características de

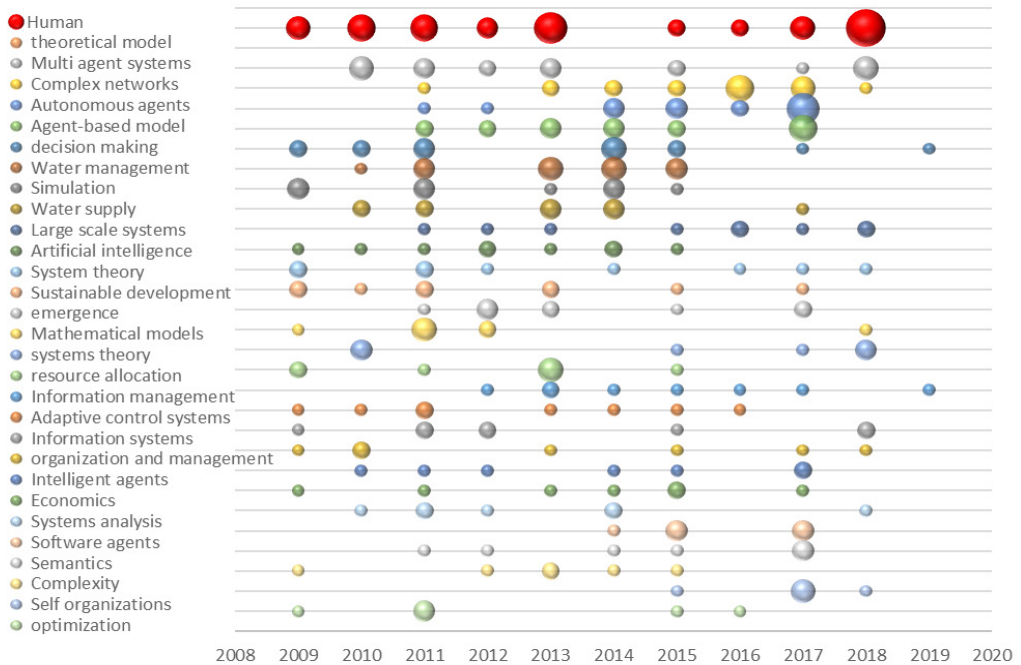


Figura 5 – Palabras clave

las personas en pro de las relaciones basadas en antecedentes sociales y culturales con la tecnología de la información para el comportamiento empresarial.

Por otro lado, en la figura 6 se presenta la dinámica de los campos emergentes y creciente de las principales palabras clave mostradas anteriormente. Allí se plantea una línea de tiempo compuesta por dos rangos de años; 1996 – 2007 para reconocer los temas que desde sus inicios han crecido a lo largo de estos años, y 2008-2019 para representar los temas emergentes, es decir aquellos que han surgido en los últimos años y que su aplicabilidad puede tener enfoques interesantes para profundizar en la simulación de los sistemas complejos adaptativos.

Entonces, entre el rango 1996-2007 se puede observar las temáticas que más aparecieron en publicaciones como, Sistemas complejos adaptativos (CAS), seguido en menor proporción con Emergence, Agent, Self-organization y Networks con única aparición en medios científicos. Teniendo en cuenta que estas palabras se mantuvieron presentes en el segundo rango de tiempo (2008-2019). En cuanto a la relación de crecimiento, la palabra Emergence su crecimiento fue mayor. A diferencia de CAS que en el segundo rango tuvo 4 apariciones en medios de divulgación. Adicionalmente, otras temáticas emergen en el segundo rango, como Social Networks, Water resources, Multi-agent, Netlogo, Optimal allocation.

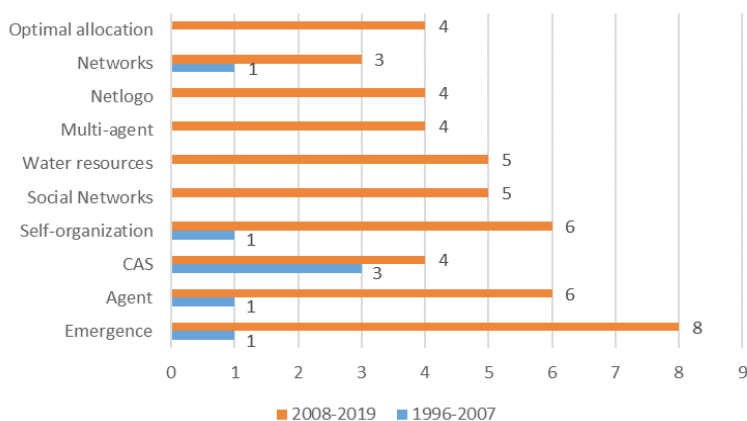


Figura 6 – Gráfica temas emergentes y crecientes

Además, se puede observar las palabras emergentes en el rango de años (2008-2019), como: Emergence, Agent, CAS, Self-organization, Social Networks, Water resources, Multi-agent, Netlogo, Networks y Optimal allocation. Entonces, se describe algunas características de cada una de estas temáticas.

Social Networks como una temática funciona como una plataforma en línea para que las personas se expresen de manera individual mediante la generación de dialogo o planteen situaciones de tipo personal, político o cultural (Lympelopoulos & Lekakos, 2013). Sin embargo, aunque las Social Network son ubicuas, sus propiedades, estructuras y dinámicas no se entienden completamente, por lo que hacen que la predicción de su comportamiento sea un esfuerzo de investigación intrigante y desafiante. En este sentido, bajo la simulación de las redes sociales como un sistema complejo adaptativo. Frente a esto el autor Lympelopoulos (2013) plantea que es necesario contribuir al conocimiento y desarrollo de esta temática desde diferentes contextos socioeconómicos sobre cómo los usuarios construyen, crecen, fusionan y dividen las comunidades, cómo se distribuye la influencia, cómo se genera la confianza y cómo se transmite la interacción, que pueden ser eventos globales con impactos socioeconómicos más amplio que repercuten en crisis económicas, desastres sociales, diferencias culturales y amenazas de seguridad, entre otros.

Water resources definida como una teoría de los sistemas complejos adaptativos, ofrece un nuevo pensamiento a la investigación del agua (Zhao & Bi, 2012) comprendiendo que la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos están amenazados por procesos que incluyen el aumento del consumo de agua causado por el crecimiento de la población y las alteraciones hidrológicas debidas al cambio de uso de la tierra y el cambio climático (Giacomoni & Berglund, 2015; Giacomoni & Zechman, 2011). De esta manera, la simulación del modelo se ha aplicado para la asignación de los recursos hídricos de forma sostenible reconociendo que se compone de muchos agentes (Consumidores, industria, el sector rural (Feng & Tian, 2013).

Multi-agent, En esta temática varios autores han definidos los multiagentes como aquellos que intervienen en otros agentes. Es decir, modelado de agentes múltiples se centran en el estudio de la interacción entre múltiples sujetos (Simpson & Camorlinga, 2015). Tal como lo manifiesta (Birdsey, Szabo, & Falkner, 2017) al relacionar como los agentes que comprenden otros agentes considerados métodos de adaptación capaz de capturar las características sobresalientes de CAS al tiempo que es lo suficientemente general para ser usado en múltiples dominios.

Netlogo funciona como una herramienta informática que ha tomado fuerza debido a que muchas investigaciones de simulación han usado métodos tradicionales y este se presente como un nuevo mecanismo informático que permite describir con precisión las características de un agente (Simpson & Camorlinga, 2015). Metodología para para crear un modelo informático para valuaciones de Enfermedades, Cardiovasculares (Simpson & Camorlinga, 2015). Para **Optimal allocation**, se propone un modelo de asignación óptimo integrado para un sistema adaptativo complejo de gestión de recursos hídricos (Zhou et al., 2015), asignación optima de los recursos (Feng & Tian, 2013)

4. Discusión

Basado en el análisis de la producción científica sobre sistemas complejos adaptativos en simulación, se plantea una discusión a través de la construcción de un diagrama con los principales enfoques, tendencias, los tipos de agentes y los objetos a los que esperan llegar.

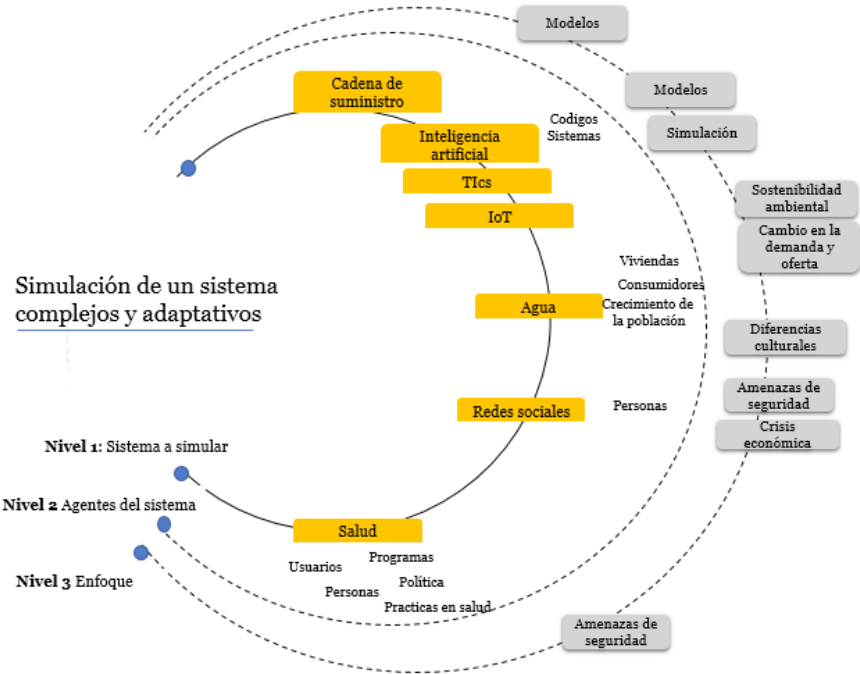


Figura 7 – Tendencias en simulación Sistemas complejos adaptativos

A partir de los datos encontrados se puede determinar que la aplicación de los modelos para simular cualquier sistema establece tres niveles. En el nivel 1 se define el enfoque del estudio, en el nivel 2 se relacionan los agentes que interactúan en cada sistema cuyo comportamiento está basado en leyes físicas, psicológicas, sociales o de acuerdo con las dinámicas de cada sistema. Para el nivel 3, se relacionan los datos encontrados.

Entonces, el nivel 1 tiene que ver con cómo en cualquier investigación aplicada, donde el objeto de estudio debe ser claro, reconociendo el fenómeno que se requiere explorar. De allí, se plantean varios enfoques que han tenido mayor profundización por la comunidad científica, como, la salud, las redes sociales, el agua y mercadeo. Para el caso de la salud en el nivel 2 se identificaron varios agentes que interactúan entre el sistema que influyen o ejercen alguna influencia en el sistema, como lo es la política, los usuarios, las prácticas de salud y los programas. Es así como, entre los datos encontrados la simulación que se ha dado para este sector tiene que ver con la necesidad mundial de establecer nuevas políticas, creación de programas y prácticas en el sector (Theobald et al., 2018).

Por otro lado, en el nivel 2 de la simulación hecha para el agua que tiene como objetivo la asignación de los recursos hídricos se identificaron como agentes: el crecimiento de la población, las viviendas y los consumidores. Para que al final en el nivel 3 se describan los datos encontrados, como la sostenibilidad ambiental y cambio en la demanda y oferta. Frente a esto Giacomoni & Berglund, (2015) y Giacomoni & Zechman (2011), manifiestan que la simulación del agua para promover la sostenibilidad y disminuir los impactos ambientales es un tema que se ha consolidado como un reto mundial en el que los países deben establecer estrategias para la gestión del agua.

A partir de lo anterior, se puede observar que cualquier conjunto ya sea un sistema social, económico, cultural, organizacional y hasta las dinámicas propias del ser humano con su entorno y naturaleza funcionan como sistema y como tal es posible simularla. Frente a esto, Birdsey (2017) afirma que los sistemas complejos adaptativos son omnipresentes en muchos dominios. Como para el caso de las redes sociales al que es necesario entenderlo, explorarlo para encontrar patrones y comportamientos que sirvan como insumo para cualquier industria diseñar estrategias innovadoras para el desarrollo y adopción de nuevas tecnologías.

Por lo tanto, aunque haya diferentes tendencias que se han simulado, esto es posible solo a partir de la identificación de los agentes que interactúan en cada uno; asociado al nivel 2, donde el trabajo importante es entender la interacción de cada uno con el sistema. Como es el caso del Agua, donde el crecimiento de la población, las viviendas, y los consumidores son las características principales de los agentes del sistema que interactúan entre sí de manera individualmente o grupal. Y entenderlos y explorarlos son actividades fundamentales para lograr obtener los datos. Es decir que, para lograr transformar la demanda y oferta del agua, primero es necesario, describir el comportamiento del agente.

Basado en lo anterior, se puede asociar el punto de vista de Shi, Yan, & Ma (2012) “Un agente es diverso en la forma y la capacidad de actuar, porque se adapta y acumula experiencia “. O en el ejercicio de las redes sociales, para entender las diferencias culturales o la crisis económica (nivel 3), es necesario primero conocer a las personas, catalogada como agente.

Entonces, los investigadores de los sistemas complejos adaptativos buscan una manera realista para definir las interacciones entre los agentes de un sistema; que aprenden, se autogeneran y auto organizan (Carrizo 2004); sea social, animal, cultural, informático, digital entre otros. Lo que ofrece una opción para definir las reglas de las interacciones de una manera que sea potencialmente consistente con el comportamiento real observado y determinar las acciones de los agentes para lograr obtener resultados asociados a los objetivos inicialmente planteados.

De este modo, la simulación de los sistemas complejos adaptativos se ha convertido en una herramienta de investigación prometedora que aporta conocimiento a diferentes disciplinas mapeando varios fenómenos (Dréau, Carmichael, & Hadzikadic, 2009),

5. Conclusiones

La bibliometría como herramienta científica permitió analizar que la simulación de los SCA son una teoría que ha tenido interés desde los años 1990 en la comunidad científica que a partir del año 2000 tiene un comportamiento exponencial en términos de publicaciones, donde los enfoques que se han dado van desde los temas sociales, energéticos, culturales y tecnológicos.

Adicionalmente, para el desarrollo de un modelo, los componentes de un ecosistema van desde la experiencia, los actores internos y externos que actúan como agentes y las características principales para la sistematización del mismo; que en general, el objetivo de simular es interpretar que es lo que hace que un sistema sea más complejo y porque que no, con el fin de mejorarlo, desarrollarlo y transformarlo en nuevas formas e ideas innovadoras. De esta manera los SCA se constituye más que una teoría como una herramienta multidisciplinaria que no depende de las leyes físicas, psicológicas, sociales sino del objetivo que se quiere lograr.

Para esto, se han desarrollado múltiples aplicaciones de apoyo como herramientas que permiten la sistematización como lo son Social Networks, Water resources, Multi-agent que se centran en el estudio de la interacción entre múltiples sujetos y Netlogo que usan mecanismos informáticos.

Entonces cabe concluir que para que el comportamiento de un sistema esté adecuadamente descrito, es necesario conocerlo, interpretando su elementos, las interacciones o relaciones entre ellos.

Referencias

- Arshad, S., Maryam, H., Yasmeen, H., & Shah, M. A. (2018). *Complex adaptive systems: A data modelling and engineering perspective*. 44–48. <https://doi.org/10.1145/3206098.3206120>
- Bancheva, A. (2019). A bibliometric analysis of global research on the arctic (with special interest in environmental issues). *Polar Science*. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.04.002>

- Birdsey, L., Szabo, C., & Falkner, K. (2017). Large-scale complex adaptive systems using multi-agent modeling and simulation. *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS*, 3, 1478–1480.
- Bohórquez-Arévalo, L. E. (2013). La organización empresarial como sistema adaptativo complejo. *Estudios Gerenciales*, 29(127), 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2013.05.014>
- Bornmann, L. (2014). How are excellent (highly cited) papers defined in bibliometrics? A quantitative analysis of the literature. *Research Evaluation*, 23(2), 166–173. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvu002>
- Broenlee, J. (2007). Complex Adaptive Systems. *Information Technology Research*, 11(March), 102–108. https://doi.org/10.1163/9789004305052_013
- Capra, F. (1998). La emergencia del pensamiento sistémico. In *La trama de la vida*.
- Carrizo, L., Prieto, M. E., & Klein, J. T. (2004). *Transdisciplinariedad y complejidad en el análisis social; MOST discussion paper series; Vol.:70; 2004*.
- Dréau, D., Carmichael, T., & Hadzikadic, M. (2009). Modeling of solid tumor progression thresholds using a complex adaptive system approach. *AAAI Fall Symposium - Technical Report, FS-09-03*, 33–38.
- Durieux, V., Pierre, M., & Gevenois, A. (2010). Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication 1. *Radiology.Rsna.Org n Radiology*, 255(2–May).
- Escorcia, T. A. (2008). El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado [tesis]. Pontificia Universidad Javeriana. *Director*, 1–61.
- Feng, K., & Tian, J. (2013). Complex adaptive system on water resources allocation system. *Journal of Applied Sciences*, 13(9), 1530–1536. <https://doi.org/10.3923/jas.2013.1530.1536>
- Gell-Mann, M. (1995). *El quark y el jaguar*.
- Giacomoni, M. H., & Berglund, E. Z. (2015). Complex adaptive modeling framework for evaluating adaptive demand management for urban water resources sustainability. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000543](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000543)
- Giacomoni, M. H., & Zechman, E. M. (2011). Assessing sustainability of integrated urban water resources systems through a complex adaptive systems approach. *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability - Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress*, 2844–2851. [https://doi.org/10.1061/41173\(414\)297](https://doi.org/10.1061/41173(414)297)
- Goldstein, J. (1997). Organizations as Nonlinear Systems: Implications for Managers. *Escuela de Administración y Negocios Adelphi University*.

- Gómez-García, A., Ramiro, M. T., Ariza, T., & Granados, M. R. (2012). *Estudio Bibliométrico De Educación XXI (Bibliometric Study of Educación XXI)*. 151, 17–41.
- Granda-Orive, J. I., Alonso-Arroyo, A., García-Río, F., Solano-Reina, S., Jiménez-Ruiz, C. A., & Aleixandre-Benavent, R. (2013). Ciertas ventajas de Scopus sobre Web of Science en un análisis bibliométrico sobre tabaquismo. *Revista Española de Documentación Científica*, 36(2), e011. <https://doi.org/10.3989/redc.2013.2.941>
- Holland, J. H. (1996). Sistemas Adaptativos Complejos. In *Redes de neuronas artificiales y algoritmos genéticos* (pp. 259–295).
- Ibrahim, Y. A. (2019). Managing Stormwater as a Complex Adaptive System. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001837](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001837)
- IEEE. (2013). *Appropriate Use of Bibliometric Indicators for the Assessment of Journals Research Proposals, and Individuals*.
- Joshi, M. A. (2014). Bibliometric indicators for evaluating the quality of scientific publications. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 15(2), 258–262. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1525>
- López, P. J. M. (1972). El análisis estadístico y sociométrico de la literatura científica. *València: Facultad de Medicina*.
- Lymperopoulos, I., & Lekakos, G. (2013). Analysis of social network dynamics with models from the theory of complex adaptive systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 399, pp. 124–140. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37437-1_11
- Malavar, M., Rivera, H., & Alvarez, L. (2010). La ciencia de las redes y la conectividad. *Semestre Económico*, 13, 149–157.
- Martínez, J. (2017). El conocimiento como sistema adaptativo complejo en las organizaciones de gestión de proyectos - PMO. *Revista Ontare*, 4(2), 27–54. <https://doi.org/10.21158/23823399.v4.n2.2016.1626>
- Milanés Guisado, Y., Pérez Rodríguez, Y., Peralta González, M. J., & Ruiz Ramos, M. E. (2008). Los estudios de evaluación de la ciencia: Aproximación teórico-métrica. *Acimed*, 25, 1–50.
- Morin, E. (1992). *El metodo IV*.
- Ortiz, F. A., & Corrêa, C. H. W. (2016). Análisis de la producción académica en revistas brasileñas. *Estudios y Perspectivas En Turismo Volumen*, 25, 304–318.
- Phillips, M. A., & Ritala, P. (2019). A complex adaptive systems agenda for ecosystem research methodology. *Technological Forecasting and Social Change*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119739>
- Pritchard, P. C. (1969). *The survival status of ridley sea-turtles in American waters*. *Biological Conservation*,. 2, 13–17.

- Shi, Y., Song, Y., Li, H., & Yan, J. (2011). *System analysis of enterprise network based on complex adaptive system theory*. 626–630. <https://doi.org/10.1109/GSIS.2011.6044085>
- Shi, Y., Yan, J., & Ma, Z. (2012). Research on the behavior model of enterprise network agent. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering, ICICEE 2012*, 247–250. <https://doi.org/10.1109/ICICEE.2012.72>
- Simpson, O., & Camorlinga, S. (2015). A methodology to create Complex Adaptive System models that support Cardiovascular Diseases simulation. *9th Annual IEEE International Systems Conference, SysCon 2015 - Proceedings*, 224–229. <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2015.7116756>
- Song, K., An, K., Yang, G., & Huang, J. (2012). Risk-return relationship in a complex adaptive system. *PLoS ONE*, 7(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033588>
- Theobald, S., Brandes, N., Gyapong, M., El-Saharty, S., Proctor, E., Diaz, T., ... Peters, D. H. (2018). Implementation research: new imperatives and opportunities in global health. *The Lancet*, 392(10160), 2214–2228. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32205-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32205-0)
- Virgen Ortiz, V., Cobo Oliveros, C. E., & Betancourt Guerrero, B. (2014). Análisis bibliométrico del campo de formación de emprendedores. (Spanish). *Bibliometric Analysis of the Field of Entrepreneur Formation. (English)*, 30(52), 44–53. Retrieved from <http://ezproxy.eafit.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=100647456&lang=es&site=eds-live>
- Zhao, Y., & Bi, G. (2012). Modeling for complex adaptive agent system based on time colored Petri nets. *International Review on Computers and Software*, 7(5), 2495–2501.
- Zhou, Y., Guo, S., Xu, C.-Y., Liu, D., Chen, L., & Ye, Y. (2015). Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): Methodologies. *Journal of Hydrology*, 531, 964–976. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.007>

Optimización de tiempos utilizando realidad aumentada para la industria de la moda

Ricardo Herrera¹, Diego Araujo¹, Graciela Guerrero^{1,2}, Freddy Tapia¹

jr Herrera6@espe.edu.ec, dfaraujo@espe.edu.ec, rgguerrero@espe.edu.ec, fntapia@espe.edu.ec.

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Computación, 171-5231B, Sangolquí, Ecuador.

² Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Sistemas Informáticos, 02006 Albacete, España.

Pages: 806–815

Resumen: La realidad aumentada es una tecnología que se encuentra en auge en los últimos años como una alternativa a las aplicaciones ya existentes, ya que presenta una nueva experiencia en lo que se refiere a información y visualización de objetos inmersos en el entorno. En la presente investigación se utiliza realidad aumentada para generar un cambio de perspectiva en lo que se refiere al mercado de vestimenta en general, con el objetivo de optimizar tiempos de compra por parte de los clientes, así como también incrementar las ganancias al momento de comercializar una prenda de vestir, ya que se podrá visualizar superpuesta en el cuerpo del usuario y apoyar generar de este modo una decisión de compra. Esta propuesta reduce el tiempo del cliente al momento de probarse una prenda de vestir; sin embargo, la experiencia todavía no es la mejor para que se logre una adopción total del método.

Palabras-clave: realidad aumentada; estilo; moda; aplicación móvil, ropa.

Time optimization using augmented reality for the fashion industry.

Abstract: Augmented reality is a technology that has been booming in recent years as an alternative to existing applications, as it presents a new experience in terms of information and visualization of objects immersed in the environment. In the present research, augmented reality is used to generate a change of perspective regarding the clothing market in general, with the objective of optimizing purchase times by customers, as well as increasing profits when marketing a garment, as it can be visualized superimposed on the body of the user and support thus generate a purchase decision. This proposal reduces the customer's time when trying on a garment; however, the experience is not yet the best for achieving full adoption of the method.

Keywords: augmented reality; style; fashion; mobile application, clothes.

1. Introdução

El presente trabajo de investigación expone una aplicación que permite a los clientes de una determinada tienda de ropa interactuar desde sus dispositivos móviles, de manera que se puedan probar las prendas de vestir sin necesidad de ingresar a los vestidores.

El sistema planteado comprende: i) la propuesta de una arquitectura que plantea un sistema con realidad aumentada(RA) que permite probarse prendas de vestir, para así reducir el tiempo que conlleva seleccionar y adquirir ropa nueva, ii) el desarrollo de una aplicación móvil en el sistema operativo Android que contiene la funcionalidad de sobreponer prendas de vestir en los cuerpos de los usuarios usando realidad aumentada, todo esto con iii) el uso de la realidad aumentada para la sobreposición de las prendas de vestir, así como también el uso de la herramienta RapidMiner para definir un análisis de tendencia.

El trabajo de investigación desarrollado se encuentra estructurado bajo los siguientes apartados: ii) Análisis de trabajos relacionados sobre aplicaciones, sistemas con realidad aumentada orientados a la moda en general. iii) implementación de la aplicación, así como también la representación de la arquitectura general de la aplicación propuesta y exposición de cada una de las arquitecturas específicas como lo son la arquitectura Cliente-Servidor, arquitectura del Servidor-Móvil, y la arquitectura de la administración de servicios. iv) En el apartado cuatro se realiza la evaluación del sistema propuesto, se exponen las sesiones realizadas, los escenarios planteados, las actividades planificadas y el análisis de los resultados obtenidos de cada una de las evaluaciones. v) Finalmente, en el apartado cinco se exponen las conclusiones obtenidas tras realizar el desarrollo y evaluación del trabajo de investigación realizado, así como también las líneas de trabajos a futuro.

2. Trabajos relacionados

La realidad aumentada representa un avance de la tecnología que ha permitido al usuario ir más allá con respecto a su experiencia con los dispositivos móviles, ya que permite que éste pueda observar imágenes, escenas, videos u objetos de una manera aumentada, es decir, genera en el usuario una percepción de estar en un entorno real con información adicional generada por el dispositivo, simulando aparecer como parte del mundo real, sin estarlo realmente; se consultaron tres bases de datos de referencia en el área, siendo estas: Scopus (Elsevier), IEEE Xplore, ACM (Association for Computing Machinery).

A partir de las preguntas de investigación planteadas: i) ¿Cuáles son los problemas específicos de probarse la ropa en un vestidor habitual?, ii) ¿Cómo se puede mejorar el proceso de “probarse” una prenda de vestir al momento de visitar una tienda de ropa?. iii), y ¿Qué efecto tiene el hecho de probarse las prendas de vestir de una manera virtual?. El presente estudio de trabajos relacionados se centra en la exhibición de prendas de vestir usando la realidad aumentada, dichos trabajos cuentan con la aplicación de varias tecnologías para el desarrollo de este tipo de aplicaciones, con el principal objetivo de ahorrar el tiempo que el cliente emplea al momento de probarse una prenda de vestir. Por este motivo, se ha considerado el realizar una búsqueda de trabajos relacionados que contengan características similares a la aplicación a desarrollar, tomando aquellas

mejores cualidades de los trabajos relacionados más relevantes mismos que se citan a continuación.

Todos los elementos en la cadena de búsqueda antes descrita se encuentran conectados con operadores “o/y”, declaraciones para asegurarse de que se recuperan todos los documentos relevantes. La cadena de búsqueda obtenida fue: (augmented reality AND (clothing OR fashion) AND customer support). Se obtuvo un total de 6 trabajos relacionados más relevantes en el ámbito del aprendizaje y la puntuación en base a la satisfacción del usuario al momento de aplicar la realidad aumentada en la moda.

Lobo (2016) usa técnicas de procesamiento de imágenes para detectar a un usuario y luego muestra una imagen de prensa en la persona, además proporciona al usuario la capacidad de cambiarse entre las selecciones disponibles de prendas de vestir en el inventario. Esto reduce efectivamente el tiempo para comprar y al tiempo de tomar decisiones en lo que se refiere a la compra de vestimenta. Por lo tanto, la implementación brinda alivio a muchos de los problemas asociados con el cambio físico de la ropa.

Existen trabajos que plantean cómo el uso de tecnologías en específico los dispositivos y el software de alta tecnología están mejorando la forma de diseñar nuevas ideas para los diseñadores de moda digital. El uso de estas tecnologías permite a cada uno de los diseñadores construir, refinar y probar rápidamente las interacciones en el cuerpo sin necesidad de conectarse o programar componentes electrónicos. Al imaginar la interacción con el cuerpo en mente, los diseñadores pueden centrarse más en volver a imaginar la relación entre los cuerpos, la ropa y la tecnología. Esto permite una implementación práctica que permite interactuar y realizar experimentos fácilmente según concuerdan (Ta, Sharlin, & Oehlberg, 2018) y (Kim & Cheeyong, 2015).

Por otro lado, los autores (Saakes, Yeo, Noh, Han, & Woo, 2016) exponen el diseño de modas utilizando realidad aumentada como un estudio para generar nuevas formas de crear vestimenta. Mediante la utilización salas de montaje virtuales equipadas con espejos mágicos permiten a las personas evaluar los artículos de moda sin ponérselos. Los espejos superponen la ropa virtual en la reflexión del usuario. El sistema denominado Mirror Mirror, que no solo admite la mezcla y combinación de artículos de moda existentes, sino que también permite a los usuarios diseñar nuevos artículos frente al espejo y exportar diseños a impresoras de tela.

La interconectividad de Internet y la tecnología móvil ha allanado el camino para que la realidad aumentada se use en prendas de vestir, involucrando a los consumidores a través de funciones de prendas extendidas, como promoción, entretenimiento y entrega de información (Ross & Harrison, 2016). Sin embargo, el impacto de los factores de aceptación de la RA en la moda, según (Cho & Kim, 2019), basados en el modelo de aceptación y uso de la tecnología en las actitudes del consumidor, indican que el uso de la tecnología aumenta la intención de compra de productos de moda. Una encuesta propuesta por los autores permitió visualizar la experiencia de realidad aumentada usando una aplicación. Los datos se analizaron mediante análisis factorial y regresión por pasos. Los resultados son los siguientes. Primero, el análisis factorial clasificó las variables de aceptación de la tecnología propuesta en relaciones sociales, efectividad de compra y facilidad de uso. En segundo lugar, la efectividad de compra es estadísticamente más influyente en las actitudes positivas hacia la aplicación propuesta.

3. Implementación

En esta sección se presenta la propuesta de arquitectura y se describen los aspectos de desarrollo de una aplicación móvil para dispositivos Android, donde se hace el uso de la realidad aumentada para implementar una aplicación que permita a los usuarios “probarse” las prendas sin tener que entrar al vestidor, simplemente utilizando la cámara de su celular por medio de dicha aplicación. Para esto, se indican los detalles relacionados con la arquitectura del sistema, las operaciones donde se indica la secuencia de tareas y/o actividades de la aplicación, y finalmente se describe la interfaz de interacción propuesta.

3.1.Arquitectura

La arquitectura general propuesta expone el sistema desarrollado (hardware y software) para la obtención de una aplicación móvil con el objeto de que el usuario se pruebe prendas de vestir de una manera virtual. En el presente subapartado, se presenta también las herramientas y técnicas empleadas.

Para brindar los efectos en la aplicación móvil, se utilizó el entorno de desarrollo Unity3D (Technologies Unity, s.f.), ya que brinda un sinnúmero de funcionalidades que permiten la creación de juegos para múltiples plataformas a partir de un único desarrollo. Para el desarrollo de la aplicación se usó el framework Andriod Studio y MySQL como base de datos que contendrá información de clientes, productos y compras, finalmente para realizar un análisis estadístico de la experiencia de usuario de la aplicación se utilizó la herramienta RapidMiner (Hofmann & Klinkenberg, 2013).

La arquitectura general está compuesta por cuatro unidades principales Fig.1: i) un Smartphone (cliente Android) que contiene la app debidamente instalada, ii) una vista con toda la información iii) un motor de realidad aumentada , que procesa y envía las imágenes 3D a la interfaz de la app y finalmente, iv) un servidor de base de datos que se comunica con la interfaz de la app, y que permitirá guardar y mostrar los datos para el análisis.

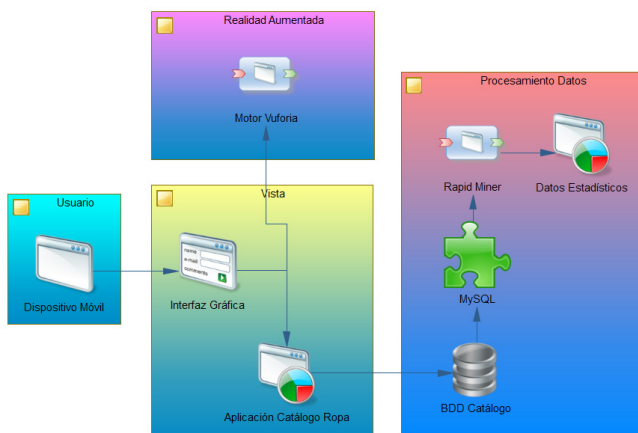


Figura 1 – Arquitectura General.

3.2. Interfaces de Aplicación

La aplicación desarrollada consta con una interfaz principal que muestra básicamente un menú con dos actividades que el usuario puede seleccionar para su ejecución Fig.2, las opciones dentro del menú hacen referencia a cada tarea.

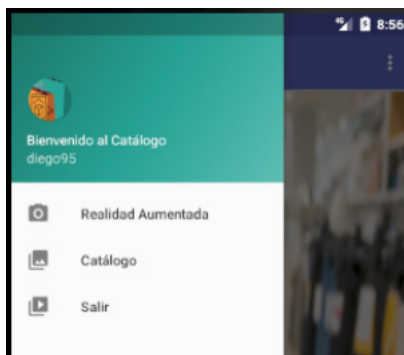


Figura 2 – Interfaz de la aplicación.

La interfaz de la opción “Realidad Aumentada” Fig.3 permite, i) activar la cámara a la espera de enfoque con algún target (objetivo) que permita la visualización de la prenda. El usuario debe colocar el target a la altura del ombligo y enfocar con la cámara hacia el mismo, la prenda aparece en la pantalla y se debe usar los, ii) botones que contiene la aplicación para redimensionar y girar la prenda.

Una vez colocada correctamente la prenda de vestir sobre el cuerpo de la persona, ésta puede tocar el, iii) botón de compartir ubicado en el lado izquierdo de los controles, el cual va a permitir compartir la imagen por varios medios, como correo electrónico, redes sociales, bluetooth, entre otros.



Figura 3 – Aplicación en ejecución (RA).

Luego de haber realizado la experiencia de realidad aumentada y saber qué prenda desea el usuario, debe tocar el botón AR ubicado en el centro, para volver al menú principal, luego escoger la opción “catálogo” para visualizar la lista de prendas, y posteriormente escoger la prenda de preferencia. Al momento de escoger la prenda, la aplicación solicita el ingreso del tiempo que ha demorado la persona en realizar esta actividad, lo que se registra en la base de datos MySQL (véase Fig. 4).

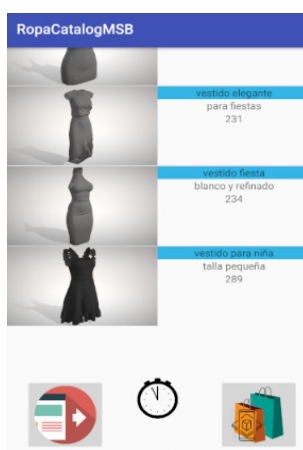


Figura 4 – Productos disponibles

Para la adaptabilidad de la interfaz de la aplicación desarrollada, se han tenido en cuenta la versión del dispositivo y el tamaño de la pantalla, que luego de evaluaciones anteriores se obtuvo lo siguiente:

Versiones de Android

Las versiones de la aplicación desarrollada en la presente investigación utilizan estas plataformas: Android 5.0 Lollipop, Android 6.0 Marshmallow, Android 7.0 Nougat, Android 8.0 Oreo y Android 9.0 Pie.

Tamaño de la pantalla

La aplicación móvil desarrollada con respecto a la pantalla se maneja bajo el término DPI (puntos por pulgada) (Hébuterne, 2016), que es la densidad de puntos de píxel que poseen. El sistema operativo Android clasifica las pantallas según su densidad de píxeles, donde: LDPI (Bajo) administra un valor de 120 DPI; MDPI (promedio) con un valor de 160 ppp, HDPI (alto) con un valor de 240 ppp, XHDPI (muy alto) con un valor de 320 ppp, incluso XXHDPI con un valor de 480 ppp y XXXHDPI con un valor de 640 ppp.

La documentación de Android recomienda usar esta unidad porque, por ejemplo, si tiene dos pantallas de rango de tamaño idéntico con resolución diferente y un botón de 50 píxeles, se observará el botón de tamaño diferente en ambas pantallas. En la tabla 1 se exponen las pantallas compatibles con la aplicación de desarrollo (HDPI, XHDPI, XXHDPI). Se debe enfatizar que hay pantallas de tamaño similar, pero con diferente resolución y, por lo tanto, diferente valor de DPI.

HDPI		XHDPI		XXHDPI	
Pulgadas	Píxeles	Pulgadas	Píxeles	Pulgadas	Píxeles
3.7	480x800	4.7	720x1280	5.0	1080x1920
4.0	480x800	5.0	768 x1280	5.5	480x800
		5.0	1080x1920	5.7	480x800
		5.2	1080x1920	6.0	720x1280
				6.0	768x1280

Tabla 1 – Tamaños de pantalla considerados para la ejecución de la aplicación.

4. Evaluación y Análisis de Resultados

En la presente sección se describen todos los parámetros que se han considerado para llevar a cabo la evaluación (tiempo, población, tendencias), los escenarios propuestos para la implementación de la evaluación de la aplicación y el análisis de resultados, con el objetivo de obtener datos para verificar si la aplicación es una herramienta que reduce los tiempos en lo que se refiere a probarse una determinada prenda de vestir dentro de un vestidor.

4.1. Parámetros de Evaluación

La información registrada por la aplicación en MySQL puede ser leída mediante el software de minería de datos RapidMiner para definir un análisis de tendencia y una predicción simulada de resultados en base a los tiempos de los usuarios, resultados que se muestran en un diagrama de dispersión. En la Fig. 5 se realiza una correlación entre el tiempo que utiliza el usuario al vestirse con ropa digital utilizando la aplicación de realidad aumentada y el número de prendas. Para esta correlación se ha utilizado cinco prendas con un tiempo máximo de estabilización de cuatro minutos.

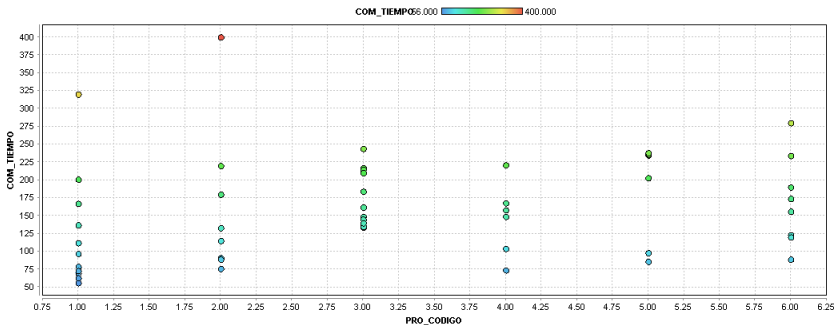


Figura 5 – Diagrama de dispersión generado por RapidMiner.

4.2. Población.

Para obtener la información del tiempo que demoran en promedio las personas al probarse ropa en los vestidores se ha realizado una encuesta a 33 personas, la encuesta se realizó de manera online a través de la plataforma Google.

4.3. Resultados

Como resultado de la encuesta propuesta Fig. 6 se obtuvo los siguientes porcentajes en relación con el tiempo que emplean los usuarios en probarse una prenda de vestir.

Según el análisis estadístico, el tiempo que la gente se demora en escoger una prenda usando los vestidores posee una tendencia de entre 5 y 15 minutos, produciendo un promedio de 10 minutos.

Para los tiempos generados al usar realidad aumentada se utilizará los datos registrados en la base MySQL, los cuales han sido almacenados por la aplicación (véase Tabla. 2). Estos tiempos se los ha tomado en varias fechas y en dos de ellas en el mismo día con diferencia horaria.

En esta etapa, los datos son manejados con la herramienta RapidMiner para obtener un análisis de predicción de la información. Corroborando con la base de datos, la tendencia del tiempo con la realidad aumentada se mantiene por debajo de los 5 minutos.

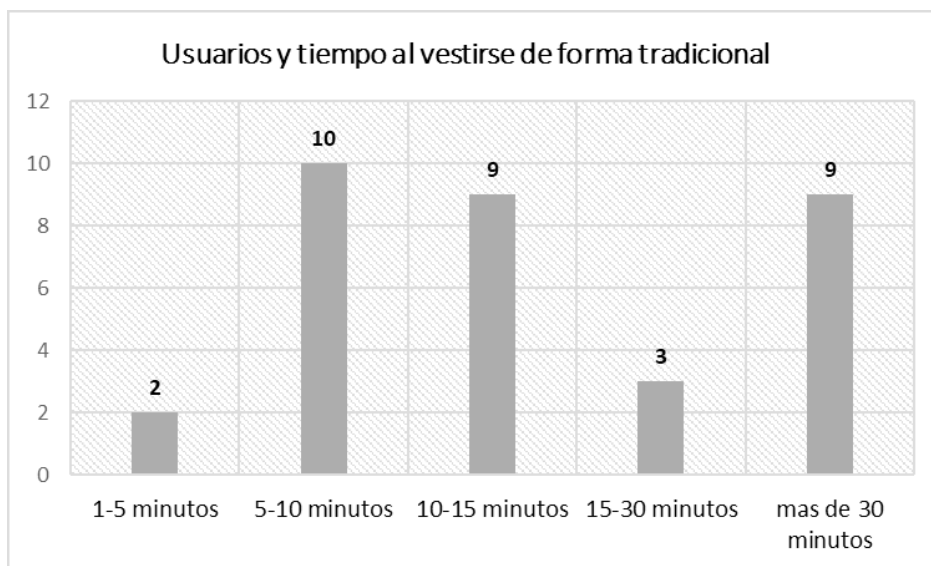


Figura 6 – Resultados encuesta online Google en relación a los tiempos obtenidos de manera tradicional.

Fecha de Ejecución	Tiempos en segundos
Agosto 1, 2018: 10h00	70
Agosto 1, 2018: 18h00	220
Agosto 6, 2018: 10h00	137
Agosto 6, 2018: 18h00	158
Agosto 7, 2018: 12h00	190
Julio 11, 2018: 14h00	203
Julio 24, 2018: 10h00	184
Julio 30, 2018: 12h00	168

Tabla 2 – Resultados BD, tiempos(segundos) tomados por la aplicación.

Los problemas específicos observados al momento que un usuario se prueba alguna prenda de la manera tradicional es el tiempo que le toma al usuario (en promedio de tiempo 10 minutos), en muchos casos estos vestuarios pueden ser accedidos luego de colas de espera. Los resultados de la encuesta arrojaron que los usuarios desearían experimentar el “probarse” una prenda mediante el medio tecnológico que la mayoría posee, siendo este su Smartphone, debido a que presentan tiempos reducidos en un promedio del 50%. Tras la evaluación, la totalidad de los usuarios indicaron que se sentían atraídos al uso de la aplicación desarrollada, que la utilizarían para tener una perspectiva previa antes de adquirir su vestimenta.

5. Conclusiones y líneas de trabajo futuro

Analizando la propuesta orientada a la industria de la moda se tiene la ventaja clave de poder, como en cualquier catálogo, visualizar las diferentes opciones de compra con la particularidad de que se podrá visualizar las prendas de vestir de una manera virtual e interactiva. Esto permitirá que las empresas se estén innovando constantemente generando muchos más ingresos. La tecnología utilizada para el presente proyecto puede ser complicada de mejorar en el futuro debido a ciertas limitaciones con respecto a la forma de desarrollo de aplicaciones móviles con Android, y al existir en el mercado alternativas que pueden resultar más atractivas para el usuario final.

El uso de aplicaciones con realidad aumentada puede ser beneficiosas para la industria de la moda, ya que se puede reducir el tiempo que las personas dedican a probarse las prendas de vestir y así incrementar las ventas y la productividad.

Una ventaja frente a otras propuestas revisadas es la facilidad de interacción del catálogo realizado y la opción de visualización usando realidad aumentada.

Como continuación de este trabajo de investigación, hay varias líneas de investigación que permanecen abiertas y en las cuales es posible continuar trabajando en el futuro, algunas de ellas están directamente relacionadas con este proyecto y son el resultado de problemas que surgieron durante la realización de esta. Entre las posibles obras futuras se encuentran las siguientes:

- Creación de un modelo de implementación como un servicio para proporcionar la aplicación personalizable para cualquier almacén de ropa del país.
- Seguir con la evaluación de la aplicación desarrollada en un campo con un mayor número de usuarios y nuevas actividades que permitan verificar los resultados de la presente investigación.
- Mejorar la aplicación desarrollada, considerando usar más funcionalidades con realidad aumentada para así ofrecerle al cliente una mayor interacción y usabilidad del aplicativo.

Referencias

- Lobo, N. (2016). Intelli-mirror: An augmented reality based IoT system for clothing and accessory display. *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, (págs. 95-100).
- Ta, K., Sharlin, E., & Oehlberg, L. (2018). Bod-IDE: An Augmented Reality Sandbox for eFashion Garments. *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems* (págs. 33–37). New York, NY, USA: ACM.
- Kim, M., & CheeYong, K. (2015). Augmented Reality Fashion Apparel Simulation using a Magic Mirror. *International Journal of Smart Home*, 9, págs. 169-178.
- Saakes, D., Yeo, H.-S., Noh, S.-T., Han, G., & Woo, W. (2016). Mirror Mirror: An On-Body T-shirt Design System. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (págs. 6058–6063). New York, NY, USA: ACM.
- Ross, H., & Harrison, T. (2016). Augmented Reality Apparel: An Appraisal of Consumer Knowledge, Attitude and Behavioral Intentions. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, (págs. 3919-3927).
- Cho, S. H., & Kim, C. S. (2019). Consumer Attitudes, Intention to Use Technology, Purchase Intention of Korean 20's Women on the Acceptance of Fashion Augmented Reality (FAR) with the Application of the UTAUT Model. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 43(1), 125-137.
- Technologies Unity. (s.f.). *Unity*. (U. Technologies, Productor) Recuperado el Septiembre de 2019, de Unity: <https://unity.com/es>
- Hébuterne, S. (2016). *Android: guía de desarrollo de aplicaciones Java para smartphones y tabletas* (Vol. 3). Barcelona, España: ENI.
- Hofmann, M., & Klinkenberg, R. (2013). *RapidMiner: Data mining use cases and business analytics applications*. CRC Press.

Un enfoque de Machine Learning en el desarrollo de Sistema Recomendadores para Procesos de Investigación

Moya Danilo¹, Tapia Liliana², Albán Mayra³, Rodríguez Gustavo⁴

julio.moya4748@utc.edu.ec, lilianatapia1@utc.edu.ec, mayra.alban@utc.edu.ec,
gustavo.rodriguez@utc.edu.ec

^{1,2,3,4} Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 050150, Ecuador.

Pages: 816–827

Resumen: Los sistemas de recomendación o sistemas de filtrado de información son muy utilizados en la actualidad para usos comerciales, sin embargo, la literatura ha permitido identificar que existen un limitado uso en procesos orientados a recomendaciones de redes de investigación en las Instituciones de Educación Superior. El artículo propone el diseño de un sistema de recomendación para grupos de investigación, basado en los perfiles de usuarios, áreas de conocimiento y características de similitud. Para el desarrollo de la investigación y diseño del prototipo se utilizó el lenguaje de programación multiparadigma Python y para construir y entrenar la red neuronal se utilizó el sistema de aprendizaje automático Tensorflow. Como resultado se obtiene un sistema de inteligencia artificial capaz de relacionar datos en red simultáneamente, de fácil uso y con una interfaz amigable para el usuario.

Palabras-clave: Sistema recomendador, Redes neuronales, Machine learning, Inteligencia Artificial.

Recommended System for research processes: An approach from machine learning

Abstract: The recommendation systems or information filtering systems are currently widely used for commercial uses, however, the literature has identified that there is limited use in processes oriented to research network recommendations in Higher Education Institutions. The article proposes the design of a recommendation system for research groups, based on user profiles, areas of knowledge and similarity characteristics. For the development of the recommender system, the Python multiparadigm programming language was used and the Tensor flow machine learning system was used to build and train the neural network. As a result, an artificial intelligence system is obtained that is able to connect network data simultaneously, easy to use and with a user-friendly interface.

Keywords: Recommending system, neural networks, machine learning, artificial intelligence.

1. Introducción

Con el desarrollo acelerado de la tecnología en la actualidad se han creado diferentes sistemas los cuales son de gran ayuda para el desarrollo de actividades empresariales, administrativos, educativas, etc. El uso de herramientas de desarrollo basadas en técnicas de machine learning son muy utilizadas hoy en día en la ingeniería de software. La importancia del uso de machine learning es la posibilidad de trabajar con algoritmos de inteligencia artificial que permiten un aprendizaje automático adecuado para la toma de decisiones.

La revisión de la literatura ha permitido identificar el desarrollo de diferentes sistemas recomendadores los cuales se han vuelto indispensables a la hora de sugerir un producto o en el caso de las redes sociales de poder sugerir amigos en base a características que compartan actividades en común (Parra, 2013). Para Landa & Ticona (2015) uno de los ejemplos más emblemáticos en esta área es el caso de Facebook utilizado para realizar recomendaciones en base a características de amistad a través de las redes sociales (Charnelli, Lanzarini, & Javier, 2017). De igual manera, podemos mencionar a YouTube plataforma en la cual podemos encontrar una gran variedad de recomendaciones de acuerdo a determinadas preferencias que se den alrededor del tiempo en el que se haya usado, como es la música o temas similares (Santos, 2006). De igual manera ResearchGate sistema de recomendaciones para usos académicos el cual está orientado precisamente hacia la recomendación de investigadores. También, se puede mencionar el trabajo realizado por Sari Villa (2017) con el desarrollo de un sistema recomendador de actividades lúdicas y culturales para personas de la tercera edad, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

A pesar de la importancia del desarrollo de este tipo de sistemas recomendadores, en el Ecuador se evidencia un limitado uso de estas aplicaciones (Mora, 2015), debido a que requieren de una compleja programación y una infraestructura adecuada para dar cumplimiento con las necesidades de los usuarios. Por lo tanto se propone el diseño de un prototipo de sistema recomendador en el ámbito de investigación para una universidad Pública del Ecuador, que presenta la posibilidad de encontrar sugerencias de temas que puedan ser de interés ente los investigadores a través de la evaluación del perfil profesional o la experiencia acorde a un área de investigación, para la conformación de grupos afines en base a sus características investigativas.

Para el desarrollo del prototipo se aplicará la metodología de modelado de software a través del uso de la ingeniería de software, el uso de Python y Tensorflow permitirá obtener una aplicación informática basada en técnicas de inteligencia artificial como las redes neuronales, obteniendo como resultado un sistema inteligente para recomendación y conformación de grupos de investigación.

El artículo se encuentra establecido en cinco secciones, en la sección 2 se presenta un breve revisión de literatura sobre el tema, la sección 3 presenta el método de investigación, en la sección 4 se discuten los resultados y finalmente se presenta la sección cinco con las conclusiones del trabajo.

2. Descripción de las técnicas de desarrollo

La importancia de los sistemas recomendadores ha incrementado con el pasar de los años. Los beneficios obtenidos con la implementación de los mismos han sido exitosos

debido a sus implementaciones en el campo de la ciencia, la educación, la ingeniería, la medicina, etc. Como se puede evidenciar en esta última década la tecnología ha cambiado de forma positiva diferentes ámbitos académicos, sociales y culturales de las personas (Charnelli et al., 2017).

Para Larrañaga, Inza & Moujahid (2015) muchas de las grandes empresas han podido crecer gracias a la implementación de este tipo de sistemas, que han permitido un significativo incremento en sus ventas, debido a la posibilidad que tienen los clientes de encontrar las mejores recomendaciones para adquirir productos o servicio.

Por otro lado, es importante señalar que la ingeniería de software juega un papel fundamental a la hora de desarrollar un buen producto de software, ya que al ser un conjunto de lineamientos y patrones de alto nivel que ayuda al ingeniero a modelar y hacer un análisis profundo previo a la construcción de un software (Reynoso, 2004). Con el auge de la tecnología en la actualidad se encuentran disponible el uso de la ingeniería de software combinada con técnicas de machine learning o aprendizaje automático (Smola, 2009). Machine learning se define como una rama dentro del campo de la inteligencia artificial, y su principal objetivo es dotar a las máquinas u ordenadores la capacidad de generar conocimiento (Management Solutions, 2018).

Las redes neuronales de acuerdo a la definición del autor (Ovando, Bocco, & Sayago, 2005) son modelos en los cuales interviene diferentes procesos matemáticos, mismos que están dirigidos para imitar al comportamiento del sistema nervioso humano, simulando el proceso de aprendizaje de una neurona. Para poder entender de forma más clara como se da este proceso de aprendizaje es necesario saber que el comportamiento de una red neuronal dependerá de los pesos o indicadores de las capas de entrada. La figura 1 presenta la fórmula matemática de la red neuronal, propuesta (Soria, Serrano, & José, 2010). Cabe destacar que los “p”, representa a la función no lineal o también conocida como la función encargada de la activación.

$$\text{umbral} = -W_{n0} \Rightarrow \begin{cases} U_n = \sum_{j=0}^k W_{nj} \cdot x(j) \\ x(0) = 1 \end{cases} \Rightarrow \text{salida} = \rho(U_n)$$

Figura 1 – Fórmula general para el trabajo con redes neuronales

Para desarrollar software se debe elegir el lenguaje de programación adecuado, en el cual se debe dar como prioridad la estabilidad del sistema, la seguridad y el soporte técnico del lenguaje de programación. Python es un lenguaje de programación rápido y poderoso, el cual está orientado a objetos. Una de las facilidades que ofrece es el desarrollo fácil de aplicaciones, debido a que es un lenguaje orientado para scripting y con posibilidad de desarrollo para distintas plataformas (Halterman, 2019).

En el diseño del prototipo se utilizará el framework Django mismo que es definido por (Django Software, 2019) como un marco de trabajo Python el cual permite un desarrollo rápido y limpio. El patrón de diseño a utilizarse es modelo vista controlados (MVT), el modelo no cambia dentro de Django, la vista en Django lleva el nombre de plantilla (Template), finalmente el controlador de Django pasa a ser la vista (Luis & Ayala, n.d.).

Según el autor (Gregorio, 2019) psycopg2 es el adaptador de base de datos PostgreSQL , el cual está orientado hacia para la programación en Python , entre las características importantes esta la capacidad de compartir la misma conexión para los múltiples procesos en las cuales se ven involucradas distintas inserciones y actualizaciones.

De acuerdo con Montes (2019) describe a Orange datamining como una herramienta de alto nivel creada para la minería de datos misma que contiene los principales algoritmos que involucran esta ciencia, está compuesta por entradas y salidas de datos, procesamiento, modelamiento predictivo, métodos de descripción de datos y técnicas de validación de datos.

3. Método

3.1. Requerimientos de usuario

El desarrollo de requerimientos de usuarios es una de las etapas de mayor importancia dentro de la construcción del software, misma que fue analizada a profundidad y que como resultado presenta 11 elementos a ser considerado de manera prioritaria para el desarrollo del prototipo, los cuales se presentan en la tabla 1.

Descripción de Requerimientos de Usuario
El sistema deberá hacer de manera obligatoria recomendaciones en base a la autoría y coautoría de un autor en una o varias publicaciones.
El sistema tiene que hacer una recomendación en grupos de investigadores en base a la experiencia profesional.
El sistema debe permitir que un usuario lector recomiende una o varias publicaciones.
Finalmente, el sistema tiene la obligación de permitir visualizar estadísticas de las publicaciones de los investigadores.
El sistema recomendador tiene que hacer sugerencias de investigadores de diferentes áreas del conocimiento en base a la experiencia profesional del investigador.
El sistema recomendador debe permitir aceptar o rechazar una recomendación.
El sistema recomendador hará sugerencias de investigadores en base a las palabras clave de las publicaciones del investigador.
El sistema recomendador tiene que hacer sugerencias de investigadores de distintas áreas del conocimiento.
El sistema recomendador permita hacer sugerencias de investigadores en base a publicaciones similares a la del autor.
El sistema recomendador permitirá hacer sugerencias de los autores que hayan leído las publicaciones.
El sistema recomendador hará sugerencias de investigadores que hayan citado las publicaciones del autor.
Finalmente, el sistema recomendador hará una recomendación de los usuarios que visiten las publicaciones del autor.

Tabla 1 – Requerimientos de usuario del prototipo

3.2. Diseño de la base de datos

Como en todo sistema informático el desarrollo correcto de la base de datos es algo indispensable ya que sobre esta estructura se montará toda la interface de usuario. Cabe recalcar que la base de datos se codificara en el gestor de base de datos PostgreSQL. El modelo entidad relación de la base de datos se muestra a continuación en la figura 1.

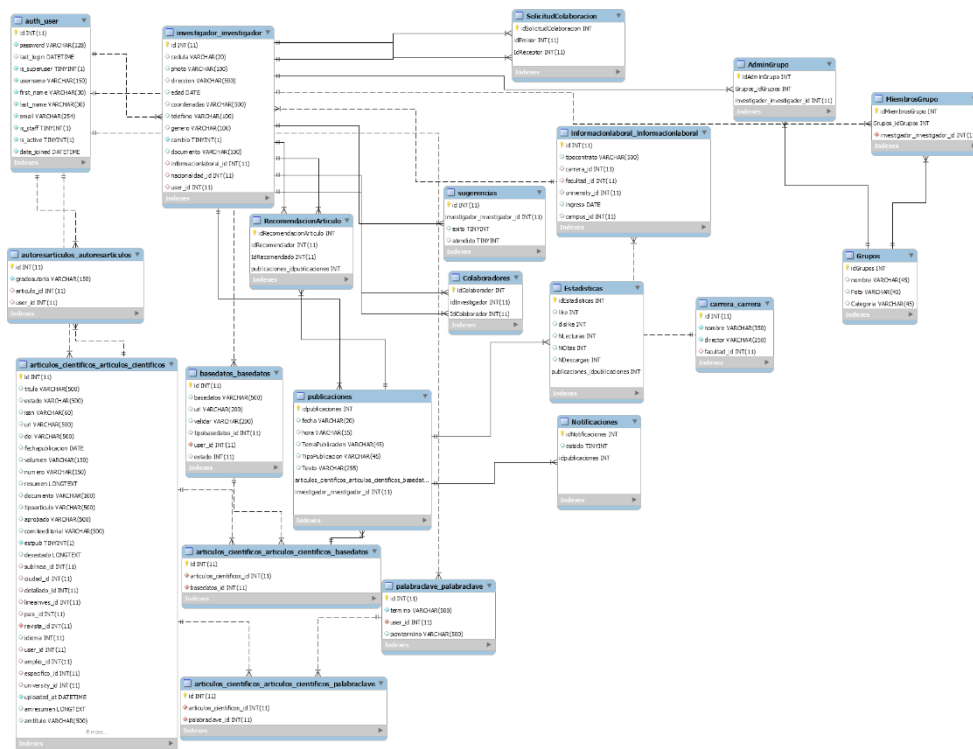


Figura 2 – Modelo Entidad relación del modelo de base de datos del sistema recomendador.

3.3. Codificación

El patrón de arquitectura de software que se utilizó para la codificación del sistema es el Modelo Vista Template, arquitectura en la cual está escrita Django en un framework basada en Python para el diseño y la construcción de aplicación web. Un Api Rest que se utiliza para ser un intermediario entre una aplicación móvil y la base de datos, es decir es un framework completo y de software libre, con una comunidad muy activa y una documentación bien detallada disponible en su sitio oficial.

Django soportan varios gestores de bases de datos, entre ellas esta PostgreSQL, mismo que es una base de datos robusta y la que tiene la mejor compatibilidad para trabajar con

aplicaciones basadas en Python. Para el diseño de las interfaces (Frontend), se utilizará el framework de maquetado Bootstrap en su versión 4, además del framework jQuery, un framework basado en JavaScript, para la interacción entre el frontend y el backend, en las consultas con Ajax.

La versión de Python a utilizar es la 3.6.4, el conector entre la base de datos y el lenguaje de programación es el framework Django es Psycopg2, una librería basada en Python que soporta las consultas DDL (Lenguaje de definición de datos), y las DML (Lenguaje de definición de datos), a través del lenguaje SQL. Uno de los temas principales del presente documento es la sugerencia de colaboradores entre los investigadores de la red de investigadores a través de un proceso de sugerencias de colaboración. El diseño de los modelos del prototipo se presenta en la Tabla 2.

```
from django.db import models
# Create your models here.
from apps.Investigador.models import Investigador
from apps.Articulos_Cientificos.models import articulos_cientificos
from apps.Libro.models import libro
from apps.Ponencia.models import ponencia
from apps.carrera.models import carrera
# Create your models here.
class SolicitudColaboracion(models.Model):
    idEmisor = models.ForeignKey(Investigador, null=False, blank=False, on_delete=models.CASCADE,
    related_name="Emisor")
    idReceptor = models.ForeignKey(Investigador, null=False, blank=False, on_delete=models.
    CASCADE,related_name="Destinatario")
    estado=models.BooleanField()
class Grupos(models.Model):
    nombre = models.CharField(max_length=50)
    photo = models.ImageField(upload_to='foto/', null=True, blank=True)
    categoria = models.CharField(max_length=50)
class MiembroGrupo(models.Model):
    investigador = models.ForeignKey(Investigador, null=False, blank=False, on_delete=models.CASCADE)
    grupos = models.ForeignKey(Grupos, null=False, blank=False, on_delete=models.CASCADE)
```

Tabla 2 – Codificación de los modelos Django

3.4. Implementación de redes neuronales

Redes neuronales fueron utilizadas para el desarrollo del prototipo y para las sugerencias de colaboración entre los investigadores. Se utilizó el software Orange data mining, que es un software basado en Python, dedicado a la minería de datos de alto nivel, ya que tiene una interfaz de usuario muy amigable que nos permite el uso de los principales algoritmos existentes, es decir se puede hacer la selección, limpieza y procesamiento de los datos, sea para toma de decisiones o para probar un algoritmo previo a la codificación definitiva dentro de un aplicativo (Demšar & Zupan, n.d.).

Filtrado de datos

Para la selección de datos se propone la clasificación de investigadores mediante el uso de palabras claves y la pertenencia de cada uno de estos a una respectiva área de investigación, se extrae las id de cada uno de los campos ayudándose de la herramienta de Orange data mining para conectarse a la base de datos y mediante una vista creada en la base de datos se recupera la información, el procedimiento del filtrado de datos se presenta en la Figura 3.

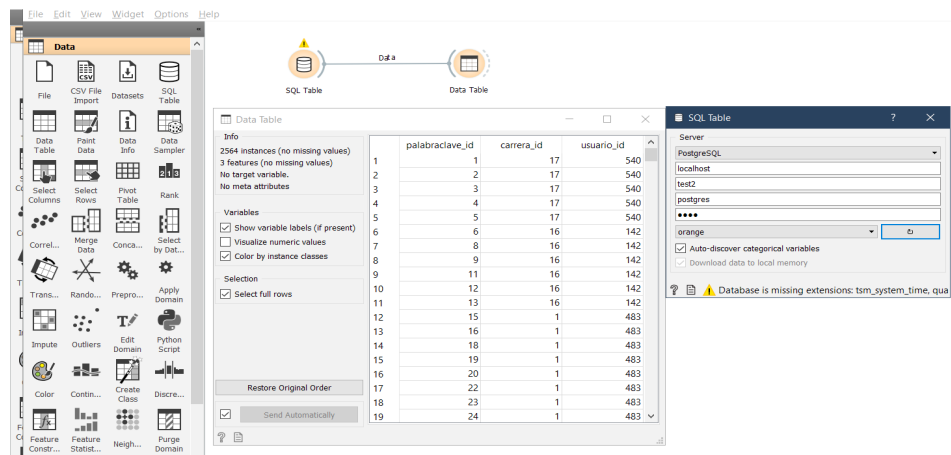


Figura 3 – Información recuperada de la base de datos.

Selección de variables

Para el paso de la de la selección de variables se hará uso de la herramienta de Orange denominada file, donde se busca al archivo guardado en el paso anterior y se procede a categorizar las variables, especificando con la opción categorial y target la variable dependiente de la data, en este caso la variable dependiente que se usara en este trabajo es el idusuario, los resultados del proceso de selección de variables se presenta en la Figura 4.

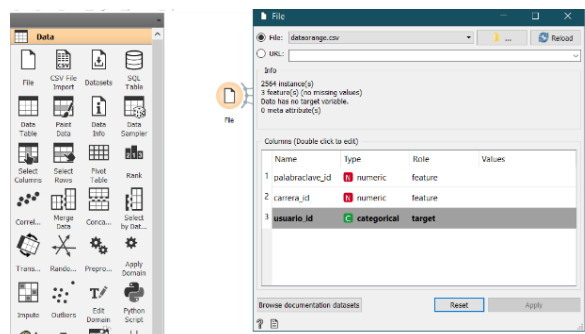


Figura 4 – Selección de variables.

Procesamiento de los datos

Para el proceso del procesamiento de los datos se hará uso de la herramienta de Orange datamining denominada neuronal network y la de predictions, para el entrenamiento de la red neuronal a través de los datos de la Tabla 1. Los parámetros de construcción de la red neuronal así como la arquitectura de la red se presentan en la Tabla 3 y Figura 5 respectivamente.

Red Neuronal	
Número de neuronas en las capas ocultas.	100
Función de activación.	ReLu
Solucionador.	L-BFGS-B
Regulación.	$\alpha=0.1$
Número máximo de iteraciones.	1000
Entrenamiento replicable	True

Tabla 3 – Parámetros para el corrido de la red Neuronal.

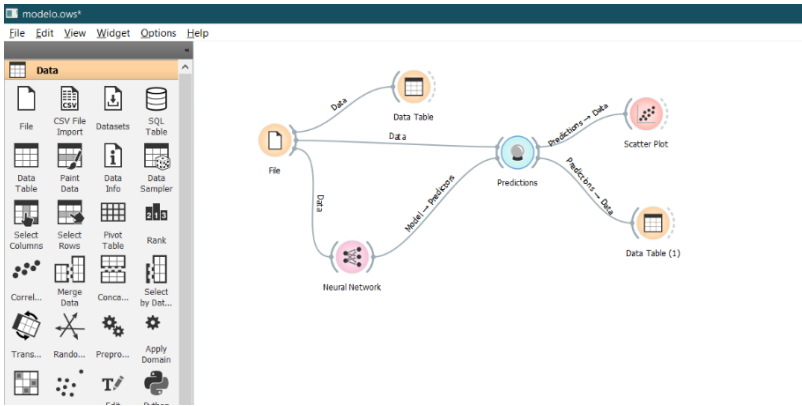


Figura 5 – Esquema de la estructura de la red neuronal.

Como resultados se obtiene una gráfica con agrupaciones de objetos o individuos compatibles entre sí, determinado por áreas de conocimiento seleccionados a través de palabras clave que los identifican. El resultado de la aplicación de la red neuronal se presenta en la figura 6.

4. Resultados y Discusión

La figura 3 presenta, el menú de la pantalla principal del sistema recomendador, misma que está conformada por la sección de grupos en los cuales el investigador este

trabajando. También se puede visualizar la sección de personas con afinidad al campo profesional, en la cual muestra recomendaciones de investigadores con los que pueda realizar una amistad y a futuro una colaboración. De igual manera visualiza la sección de publicaciones de los diferentes investigadores a los cuales este siguiendo, finalmente se tiene la sección de chat que permitirá mantener comunicación en línea para el desarrollo de trabajos de investigación. En la figura 4 se puede observar la ventana principal donde se tiene la lista de sugerencias de personas a las que puede agregar como amigos dentro del sistema, a la vez muestra las solicitudes pendientes de ser aceptadas o eliminadas dependiendo del caso.

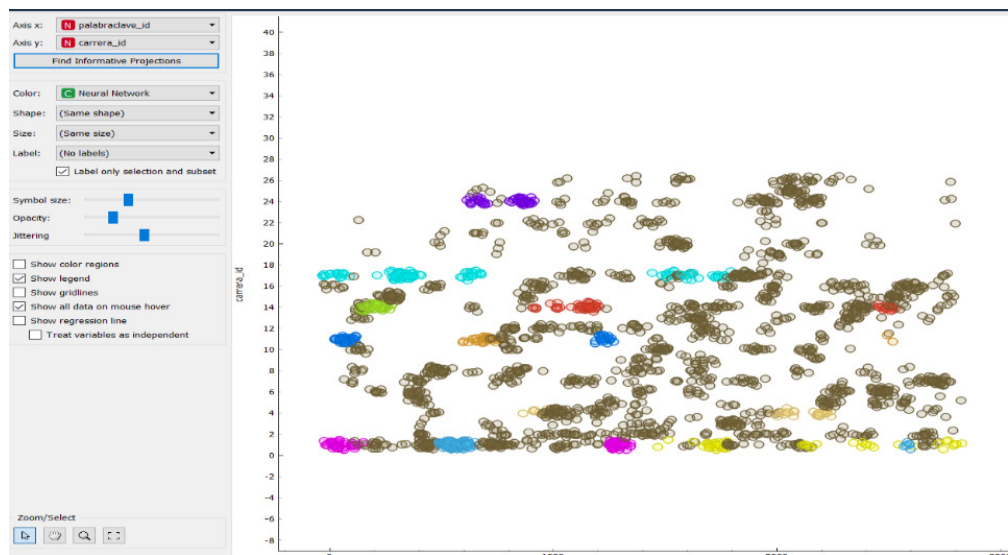


Figura 6 – Resultados de la red Neuronal.

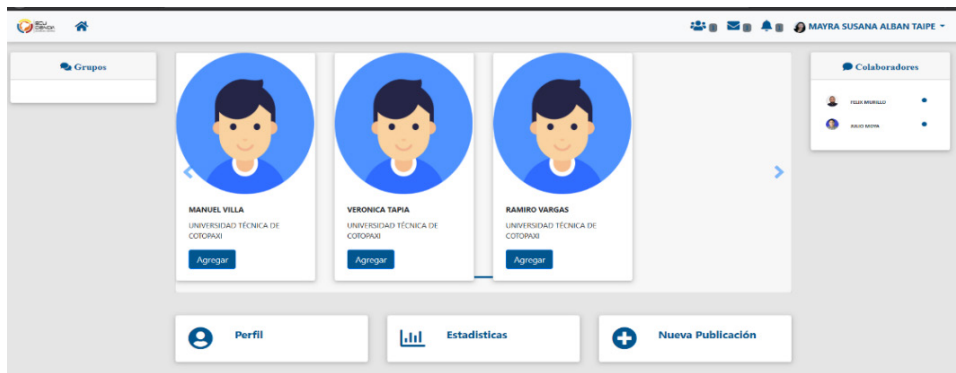


Figura 7 – Menu principal del sistema recomendador

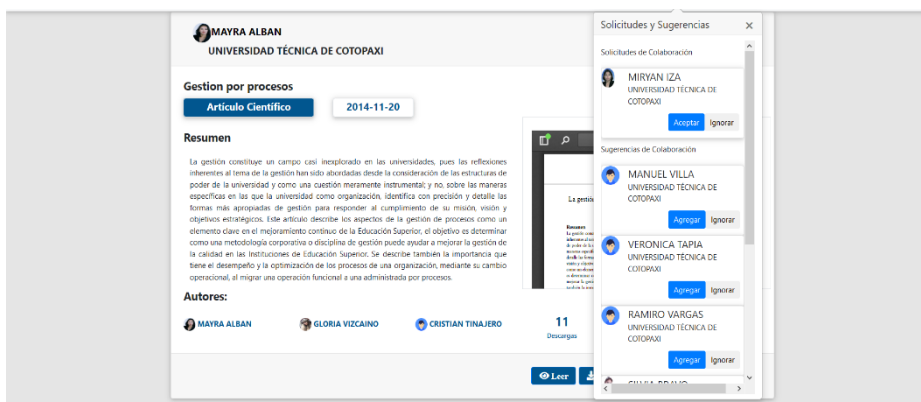


Figura 8 – Visualización de la ventana solicitudes de recomendación

El usuario tendrá acceso a la visualización de los mensajes recibidos, así como también al uso de la ventana de chat que se genera en cuanto el investigador requiera comunicarse con cualquiera de sus colaboradores, lo cual se presenta en la figura 5. En la figura 7, se puede observar la interfaz de la ventana del perfil de usuario del investigador, en la cual se encuentra la sección de datos personales, así como datos profesionales, también se tiene la sección de estadísticas generales donde se muestra el número de publicaciones, el número de recomendaciones, citas, trabajos leídos y descargas que tengan cada una de las publicaciones realizadas.



Figura 9 – Visualización de la ventana de chat del sistema recomendador

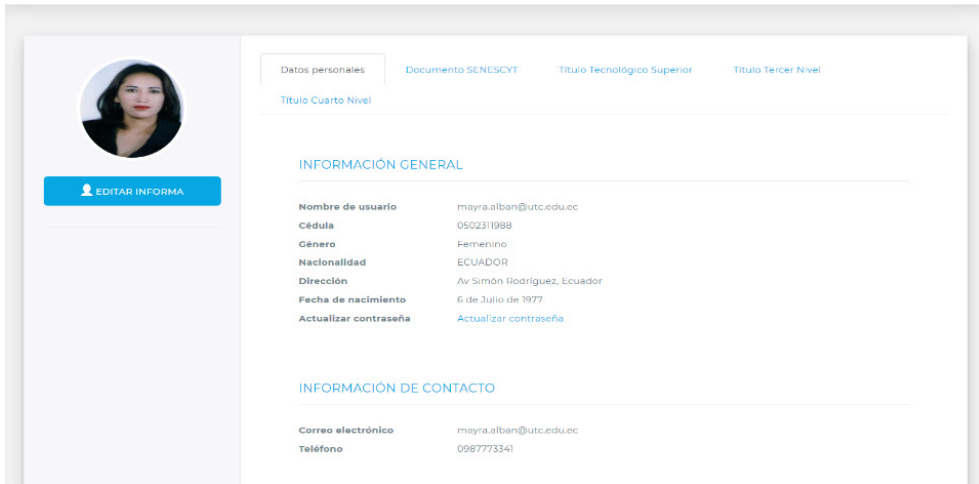


Figura 10 – Visualización de la ventana correspondiente al perfil de usuario del sistema

5. Conclusiones

Se considera importante el desarrollo de sistemas para recomendación de grupos de investigación. Se establece 11 requerimientos de usuario a considerar por los desarrolladores de software para este tipo de sistemas. El uso de plataformas de Python y Tensorflow permitió obtener un prototipo de sistema inteligente que a través del uso de redes neuronales permite la agrupación de investigadores mediante el uso de perfiles profesionales, experiencia en áreas específicas de investigación y la comunicación de los mismos a través del chat en línea disponible en el prototipo.

Referencias

- Charnelli, E., Lanzarini, L., & Javier, D. (2017). *Sistema recomendador basado en tópicos latentes*. 619–628.
- Demšar, J., & Zupan, B. (n.d.). *ORANGE : DATA MINING FRUITFUL AND FUN*.
- Django Software, F. (2019). *Django Documentation*.
- Gregorio, F. Di. (2019). *Psycopg Documentation*.
- Halterman, R. L. (2019). *Fundamentals of Python Programming*.
- Landa, S., & Ticona, F. (2015). *Un Modelo de Recomendación de Productos utilizando Redes Sociales implementado en Tecnologías de la Web Semántica*.

- Larrañaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. (2015). Redes Neuronales. *Researchgate*, 19. Retrieved from <http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/t8neuronales.pdf>
- Luis, J., & Ayala, C. (n.d.). *Phython – DjangoFramework de desarrollo web para perfeccionistas Basado en el Modelo MTV*. 36–37.
- Management Solutions. (2018). *Machine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio*. 44. Retrieved from <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- Montes, V. (2019). *www.aialab.si\orange „ „ „*. 1–6.
- Moya Caisa, J., Tapia Vega, L., Alban, M., & Rodriguez, G. (2019). *Factores de exito para el desarrollo de sistemas recomendadores, para procesos de investigación*. 1–13.
- Ovando, G., Bocco, M., & Sayago, S. (2005). REDES NEURONALES PARA MODELAR PREDICCIÓN DE HELADAS. *Agricultura Técnica*, 65(1). <https://doi.org/10.4067/s0365-28072005000100007>
- Parra, D. (2013). *Recommender systems*. 3–4.
- Reynoso, C. (2004). Introducción a la Arquitectura de Software. *Universidad de Buenos Aires*, 1–27.
- Santos, C. (2006). *Sistemas Recomendadores : Un enfoque desde los algoritmos genéticos*. 9(1), 23–31.
- Sari Villa, O. (2017). *Diseño e implementación de un sistema recomendador de actividades Lúdicas y Culturales para personas de la tercera edad*.
- Smola, A. (2009). Introduction to Machine Learning. *University Press, Cambridge*, I(July), 213. <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-748-8-7>
- Soria, E., Serrano, A., & José, M. (2010). Redes Neuronales Artificiales. *Universidad de Valencia*, 135.

Gestión de proyectos mediante el análisis de la confianza en redes sociales digitales

Liliana Pantoja¹, Nelson Pérez², Gabriel Moreno³

lpantojar@unal.edu.co, nelsonp@udistrital.edu.co, gabriel.moreno@lumon.com.co

¹ Universidad Nacional de Colombia

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas

³ Pontificia Universidad Javeriana

Pages: 828–842

Resumen: Los nuevos retos en la dirección de proyectos gracias a la globalización, al entorno volátil que se presenta actualmente y a la exposición a redes sociales digitales, hace que las organizaciones se encuentren en una situación en la que se enfrentan a diversas formas de incertidumbre, por lo cual, la confianza es un tema fundamental para la toma de decisiones ya que es un pilar básico para actuar bajo indecisión o ante la presencia de riesgos. El presente estudio plantea un modelo para el análisis de confianza en redes sociales digitales, analizando las menciones y comentarios sobre el proyecto de Hidroituango y su polaridad, así como las implicaciones que tuvo la falta de confianza en dicho proyecto en aspectos ambientales, sociales y económicos, entre otros; encontrando que la confianza fue uno de los factores identificados por EPM como fundamental para mejorar el relacionamiento con las comunidades afectadas.

Palabras clave: Confianza; Gestión de Proyectos; Incertidumbre; Riesgo; Hidroituango

Project management by analyzing trust in digital social networks

Abstract: The new challenges in the direction of projects thanks to globalization, the volatile environment that is currently presented and exposure to digital social networks, makes organizations find themselves in a situation in which they face various forms of uncertainty, so trust is a fundamental issue for decision making as it is an essential pillar to act under indecision or in the presence of risks. This study proposes a model for the analysis of trust in digital social networks, analyzing the mentions and comments on the Hidroituango project and its polarity, as well as the implications of the lack of trust in this project in environmental, social and economic aspects, among others; finding that trust was one of the factors identified by EPM as fundamental to improve the relationship with affected communities.

Keywords: Trust; Project Management; Uncertainty; Risk; Hidroituango

1. Introdução

Una sociedad cada vez más global e inmersa en las diferentes tecnologías, ha impulsado una gran cantidad de proyectos para implementar nuevos modelos de negocio, productos y servicios que son de naturaleza compleja (Pajares, Poza, Villafañez, & López-Paredes, 2017); es por ello, que debido al mundo tan cambiante, se está prestando mayor atención en la literatura sobre gestión de proyectos al tema de la confianza y la incertidumbre: sus orígenes y cómo afectan a estos, los cuáles se enfrentan a una amplia gama de indecisiones que tienen el potencial de perturbar el logro de sus objetivos, por lo que las amenazas así como las oportunidades deben ser gestionadas proactivamente por el gerente del proyecto (Saunders, F.C., Gale, A.W. and Sherry, 2013).

El manejo sobre la confianza y la certeza en un proyecto está asociado con su éxito, ya que un gerente proactivo busca constantemente dirigir el proyecto hacia el logro de los objetivos deseados mediante un enfoque integrado (Hillson, 2002); no obstante, la práctica común de gestión de proyectos no aborda muchas fuentes fundamentales de incertidumbre, por lo cual, los esfuerzos más sofisticados para reconocer y gestionar importantes fuentes de indecisión son necesarias (Atkinson, Crawford, & Ward, 2006).

Adicionalmente, debido al rápido cambio dinámico de hoy en día y el aumento de la competencia, no es suficiente para tener un buen plan de proyecto contar solamente con un sistema adecuado de monitoreo y control; sino que las organizaciones deben ahora estar preparadas para gestionar los nuevos riesgos e incertidumbres que afronta la gestión de proyectos y hacer algo al respecto (Raz, Shenhar, & Dvir, 2002).

Dentro de una sociedad cada vez más tecnológica e inmersa en las diferentes posibilidades que brinda Internet como canal de interacción y comunicación, surge la necesidad de entidades privadas y estatales de explorar la información contenida en las redes sociales; oportunidad que supone nuevos retos que vienen asociados a nuevos riesgos como el reputacional (Moreno Sandoval & Pantoja Rojas, 2013). La participación en la vida social contemporánea a través de redes se ha vuelto cada vez más compleja; la gente acumula cientos de amigos y conocidos a través de los medios sociales, pero cada vez más, reporta un menor número de amigos u organizaciones en los que puede confiar (Burt, Kilduff, & Tasselli, 2013).

Todo ello está haciendo que las organizaciones empiecen a considerar la necesidad de gestionar recursos para una adecuada identidad digital y reputación de marca. Esto implica el establecimiento de procesos que permitan por un lado, monitorizar la información que circula en la red sobre la propia organización y por otro, establecer pautas efectivas de creación de imagen en los medios sociales, ya que se puede afectar la reputación y confianza en una organización si no se gestiona adecuadamente (Rossetti, Guidotti, Miliou, Pedreschi, & Giannotti, 2016).

Dado que las empresas y por ende sus proyectos tienen ahora presencia en las redes sociales digitales, este artículo se basa en el postulado de que la confianza en dichas redes se construye a partir de las relaciones, las interacciones, la expresión de opiniones, sentimientos, emociones, esto es, estados privados (Wiebe & Wilson, 2002); (Wilson, 2008); (Zaki, 2011) y que los comportamientos de los actores que participan en la red pueden ayudar a determinar la gestión de un proyecto a través de la confianza que se establezca de los mismos en redes sociales. Las decisiones que toma un actor están

basadas en la confianza construida sobre la entidad objetivo, cuyos resultados positivos o negativos mantendrán, aumentarán o disminuirán el valor de la confianza (Zhao & Kou, 2014) y por tanto la percepción del éxito de un proyecto.

Por lo anterior y con el fin de analizar como un caso de estudio la detección de confianza en el Proyecto de Hidroituango, se analizan los comentarios y las menciones más relevantes en Twitter, con el fin de identificar la polaridad. En este documento se presenta seis secciones. La segunda sección hace referencia a las definiciones de riesgo e incertidumbre, la tercera al concepto de confianza, la cuarta al modelo para el análisis de la confianza en redes sociales digitales, la quinta al estudio de caso del Proyecto de Hidroituango y la sexta a las conclusiones.

2. Riesgo e Incertidumbre

Todos los procesos y decisiones en el entorno empresarial son aptos para la incertidumbre, lo cual puede verse reflejado en estimaciones y juicios erróneos que pueden afectar un proyecto, por lo cual es necesario monitorear y gestionar la incertidumbre dado que tiene generalmente impactos críticos cuando se expone de manera tardía (Abdel-Basset, Gunasekaran, Mohamed, & Chilamkurti, 2019), por lo que a mayor incertidumbre, las consideraciones de importancia del riesgo aumentan (Atkinson et al., 2006).

Por ello, la gestión de la incertidumbre se considera una condición necesaria para una gestión eficaz de un proyecto; sin embargo se debe tener en cuenta que las fuentes de incertidumbre son muy variadas y tienen un efecto fundamental sobre estos y en las diferentes etapas del ciclo de vida del mismo (Atkinson et al., 2006).

En las organizaciones, hay razones para evitar incertidumbres, ya que pueden poner en peligro el éxito de un negocio o proyecto; pero al mismo tiempo, las incertidumbres se buscan como fuentes de innovación y la capacidad de manejar con flexibilidad la falta de certeza se convierte en una ventaja competitiva (Gudela Grote, 2009).

Por su parte, el riesgo tiene diferentes definiciones: puede ser *“una expresión del daño o pérdida potencial asociado con una actividad ejecutada en un entorno incierto”* (Bahill & Madni, 2016) o también puede definirse como *“Algo que ocurre como resultado de no saber eventos del futuro con precisión”* (Abdel-Basset et al., 2019). Sin embargo, independientemente de su definición, aunque hay lineamientos generales para saber cómo se debe gestionar en un proyecto, no hay una manera correcta de hacer un análisis de riesgo; de hecho, la buena gestión de riesgos no evitará que sucedan cosas malas, pero cuando cosas malas suceden, una buena gestión de riesgos las anticipará y reducirá sus efectos negativos (Bahill & Madni, 2016).

Aunque la gestión de riesgos es un proceso formal y ordenado de identificación, análisis y respuesta sistemática de estos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, (Razi, Ali, & Ramli, 2019), no es totalmente controlable debido a que el riesgo aumenta debido al incremento de la incertidumbre y estas incertidumbres crean una brecha entre lo que sucede y lo que ha planeado una empresa (Mansouri & Ikram, 2016).

Adicionalmente, el riesgo es intangible y generalmente los parámetros son difíciles de medir, ya que las estimaciones cualitativas son generalmente descriptivas y no ofrecen una medida precisa (Abdel-Basset et al., 2019). Es por ello que hoy en día, los riesgos

se convierten en una parte fundamental de la vida de las personas y organizaciones ya que están involucrados en todo lo que se hace y participa; así que lo importante es la capacidad de los gerentes de proyecto para identificar las fuentes de riesgos endógenos y exógenos y cómo aprovechar estrategias proactivas o predictivas de gestión de riesgos de proyectos (Enyinda, 2016).

3. Confianza

La investigación alrededor de la confianza ha sido objeto de estudio de diferentes áreas del conocimiento como la psicología, la sociología, la filosofía, la economía, la investigación de mercados y las ciencias de la computación, lo que ha dado lugar a una gran variedad de métodos, disciplinas, tradiciones y comunidades interesadas en su estudio durante las últimas décadas (Golbeck, 2009); (Hendrikx, Bubendorfer, & Chard, 2015); (Lik, 2002); (Sherchan & Paris, 2013).

El concepto de confianza es multifacético y complejo y ha sido abordado de muy diversas maneras por lo que no se puede establecer una única definición. Seppänen, Blomqvist & Sundqvist (2007), encontraron cerca de 70 definiciones del concepto en la literatura cuya naturaleza está asociada a la disciplina desde la que se aborda, proponiendo una serie de antecedentes, dimensiones y consecuencias del constructo.

Dado que este estudio está dirigido al análisis de la confianza en redes sociales, se usará la definición propuesta por Nuñez-Gonzalez, Graña, & Apolloni, (2015) para quienes la confianza es considerada el grado de creencia subjetiva acerca de los comportamientos o la información de una entidad particular, entendiendo por entidad cualquier actor de la red social digital incluyendo usuarios u organizaciones cuyos comportamientos son evaluados a través del estudio de los vínculos y del contenido de sus interacciones.

Mcknight & Chervany (2000) identifican tres elementos significativos al tomar una decisión de confianza: competencia (capacidad de dar información precisa), benevolencia (disposición a hacer el esfuerzo) e integridad (adherencia a un comportamiento honesto).

Según Roger Atkinson, Lynn Crawford y Stephen Ward (2006) hay una serie de beneficios relacionados con la reducción de la incertidumbre mediante el uso de la confianza en lugar del control. Estas incluyen:

- Cálculos de riesgo más precisos (a través de más comunicaciones abiertas entre las partes del proyecto).
- Reducción del control de costos (por ejemplo, a través de contrataciones más rápidas y más efectivas),
- Equipos efectivos (a través de una mayor confianza),
- Planificación mejorada (a través de especificaciones estimadas más sensatas).

4. Modelo para el análisis de confianza en redes sociales digitales.

Una red social está conformada en esencia por un conjunto de nodos o actores, los vínculos que se establecen entre ellos y los recursos que comparten expresados, entre otros, en el corpus de sus conversaciones (Scott, 2011). En este marco, la medición de la confianza debe reconocer las características susceptibles de medición en la relación de actores, vínculos y corpus.

Frente a la evolución de plataformas digitales que ha dado lugar a una serie de redes de diversas características, este modelo considera que la confianza en escenarios en línea se construye alrededor de cuatro dimensiones de análisis: (a) el relacionamiento establecido por los actores que la conforman, (b) el valor de las interacciones, (c) el proceso subyacente a dichas interacciones y relacionamientos y (d) el rating o conjunto de calificaciones que reciben las entidades valoradas (ver Figura 1).

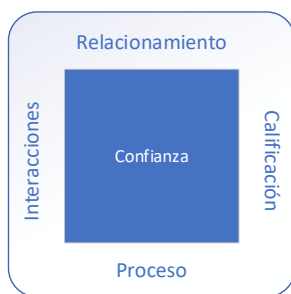


Figura 1 – Dimensiones de la confianza

El relacionamiento en redes sociales digitales se entiende por el número de actores o nodos (Alteri) con el que un actor (Ego) tiene relación, es decir, el número de seguidores o amigos. Este análisis considera las siguientes características estructurales: grado en el cual los Alteri comparten lazos entre ellos (densidad de la red ego-centrada); los atributos de los egos y sus Alteri; comparación de la densidad de los vínculos a lo largo de la red ego-centrada. (Wasserman & Faust, 1994).

Las interacciones se entienden como las características de los lazos o vínculos que unen a los actores en la red. Existen al menos dos tipos de consideraciones al analizar interacciones en una red social. La primera está asociada por las medidas estructurales asociadas con direccionalidad, como es el caso de centralidad de grado, cercanía y por la reciprocidad en el flujo de información. La segunda, tiene que ver con la identificación de la clase de relación que se establece, donde se mide la fortaleza de los lazos y frecuencia de la comunicación (De Nooy et al., 2005).

El proceso es una dimensión asociada con el sistema, el procedimiento o el producto final bajo el cual se genera confianza en las redes sociales digitales. Es evidente en las redes transaccionales la confianza se construye principalmente por el contenido creado, como es el caso de Youtube o Pinterest.

La dimensión relacionada con calificaciones es quizás una de las más utilizada en los sistemas actuales de reputación o medición de la confianza y está relacionada tanto con los actores como con el corpus. En el primer caso se mide por el número y la frecuencia de likes que recibe el actor. En el ámbito del corpus, la medición de polaridad de los mensajes, se realiza mediante procesamiento automático de aspectos de la gramática y la sintaxis que permiten analizar las dimensiones afectiva, social e individual del lenguaje a través de técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN).

La Tabla 1 registra el comportamiento de la confianza de 18 escenarios digitales que se desarrollan en el marco de la relación actores, vínculos, corpus, a partir del cual se clasificaron en cuatro grupos: tipo 1, en el cual predomina el relacionamiento, tipo 2, prepondera la interacción, tipo 3, donde la confianza se da gracias al proceso subyacente y las redes tipo 4 donde las calificaciones determinan la confianza:

Cluster	Red Social	Relacionamiento	Proceso	Interaccion	Calificación
4	Amazon	2	4	1	3
4	Booking	2	4	1	3
4	Despegar	2	4	1	3
1	Facebook	4	1	3	2
2	Fliker	2	4	3	1
3	Google Academico	1	4	3	2
1	Instagram	4	1	3	2
1	Likedin	4	1	3	2
4	Mercado Libre	2	4	1	3
2	Pinterest	2	4	3	1
3	Research Gate	1	4	3	2
3	Scimago	1	4	3	2
3	Scopus	1	4	3	2
4	Trivago	2	4	1	3
4	Tu Carro	2	4	1	3
1	Twitter	4	1	3	2
4	Uber	2	4	1	3
2	Youtube	2	4	3	1

Tabla 1 – Comportamiento de la confianza en escenarios digitales

La medición de la confianza se ha valido de múltiples métodos provenientes de diversas disciplinas. El modelo propuesto reconoce los avances de las ciencias de la computación en la medición de la relación actores, vínculos, corpus propio de las redes sociales digitales logrados por la investigación propia del análisis de subjetividad colectiva, la cual se nutre de los aportes de dos disciplinas dedicadas al análisis de redes sociales digitales: el análisis de subjetividad (AS) y el análisis de redes sociales (ARS).

Los analistas de redes sociales han dedicado su trabajo a extraer y estudiar el comportamiento estructural de dichas relaciones, estableciendo una serie de métricas según el nivel de análisis: red, actor o vínculo (Freeman, 2004); (Guo, Zhang, & Guo, 2016); (Mislove, Marcon, Gummadi, Druschel, & Bhattacharjee, 2007). Por su parte, los lingüistas computacionales se han concentrado en el análisis del corpus presente en las conversaciones compartidas en redes sociales para analizar opiniones, sentimientos, emociones, y en general, la expresión de estados privados sobre determinadas entidades (Cercel & Trausan-Matu, 2014); (Nguyen, Doğruöz, Rosé, & de Jong, 2016); (Kumar Ravi & Ravi, 2015); (Tsytsarou & Palpanas, 2012).

La arquitectura que se presenta en este artículo, ha sido construida a partir de la identificación de las propiedades y medidas de la confianza registradas en la literatura que tienen directa relación con los análisis propios de las redes sociales digitales tipo 1, es decir aquellas donde la confianza está predominantemente determinada por el relacionamiento, seguido de las interacciones y las calificaciones. La tabla 2 registra las propiedades de la confianza, las medidas y la dimensión del modelo en las que se clasifican dichas medidas en el escenario de las redes sociales digitales.

Propiedad	Medidas	ARS	AS	Dimensión
La confianza es colectiva	Densidad	Medidas a nivel de la red: densidad, centralización		Relacionamiento
	Prestigio	Medidas a nivel del actor: centralidades (grado, eigenvector, betweeness, closeness, betacentralidad)		Relacionamiento/ interacciones
	Afinidad/ ho-mofilia/ asociatividad/	Medidas a nivel de vínculos: asimetría/ balance/ Reciprocidad Conectividad Frecuencia del contacto Longitud del trayecto Equivalencia estructural	Agregación de opiniones	Interacciones
La confianza es subjetiva	Subjetividad (estados privados sobre entidades)		Detección de tópicos (entidades sobre las que se genera o no confianza)	Interacciones
			Polaridad (positiva, negativa, neutra)	Calificaciones
La confianza es dependiente del contexto	Experticia en el dominio	Análisis estructural por tópico	Detección de tópicos	Relacionamiento
La confianza se propaga	Propagación	Transitividad	Detección de tópicos	Interacciones
		Algoritmos de propagación	Agregación de opiniones	

Tabla 2 – Propiedades de la confianza

5. Proyecto Hidroituango

De la página del proyecto Hidroituango¹ se tiene que, en el año 2010, “la Sociedad Hidroituango suscribió con Empresas Públicas de Medellín E.S.P (EPM), un contrato tipo BOOMT (Build, Operate, Own, Maintain and Transfer, por sus siglas en inglés), la construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango, la obra más grande de infraestructura que actualmente se ejecuta en Colombia”. Mediante este contrato, EPM entra en la fase de hacer las inversiones requeridas para cubrir las etapas de financiación hasta la entrada en operación. Es así que al cabo de 50 años, EPM hace una transferencia del proyecto hacia la sociedad.

De la misma manera, la página del proyecto informa de forma general la localización de este sobre el río Cauca, en el noroccidente del departamento a unos 170 kilómetros de la ciudad de Medellín. Además, ocupa 12 predios de los municipios del departamento,

¹ <https://www.hidroituango.com.co/proyectos/proyecto-hidroelectrico-ituango/38>

entre ellos están Ituango y Briceño donde se construyen las obras principales; Buruticá, Liborina, Olaya, Peque, Sabanalarga, San Andrés de Cuerquia, Santa Fe de Antioquia, Toledo, Valdivia y Yarumal conforman los restantes municipios de alcance del proyecto. Al final, esta central tiene una proyección de cubrir el 17% de la demanda actual de energía del país equivalente a los 2.400 MW que este generará cuando empiece a operar comercialmente.

Este proyecto ha tenido reiteradas dificultades debido a su inestabilidad, sumado a las importantes consideraciones y repercusiones políticas debido a las afectaciones ambientales y la vulneración de los derechos de las comunidades, puesto que el muro de contención no ofrece garantías y existe la posibilidad de que el río se vuelva a desbordar como lo señalan diferentes expertos y medios de comunicación como se muestra en la Figura 2.



Figura 2 – Información medios de Comunicación sobre Proyecto Hidroituango.

Para dicho proyecto se realizó un análisis estructural de redes sociales para identificar la polaridad de los comentarios realizados en mayo y junio de 2018 analizando una muestra de 1238 Tweets que presentan en la Tabla 3 con la siguiente polaridad:

Polaridad	Mensajes
Negativo	550
Neutro	398
Positivo	290
Total	1238

Tabla 3 – Polaridad de Tweets Proyecto Hidroituango

A continuación, se encuentran la red de comentarios y menciones en Twitter del proyecto Hidroituango, la opinión de diferentes actores tanto políticos, académicos, humoristas e incluso de sectores como el camionero.



Figura 3 – Comentarios Proyecto Hidroituango

Sin embargo, esto no indica que polaridad tienen los comentarios ni su repercusión en el tema de confianza y reputación de dicho proyecto, por lo que inicialmente se identificaron los seguidores y se agruparon de acuerdo con los comentarios realizados como se muestra en la Figura 4.

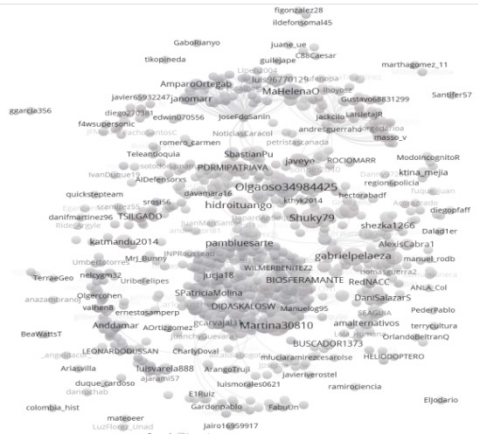


Figura 4 – Comentarios acerca de Hidroituango en redes sociales

Sobre los clústeres identificados se calculó la polaridad de los comentarios como se muestra en la Figura 5. El color verde corresponde a comentarios positivos, el color rojo a comentarios negativos y el color gris a comentarios con polaridad neutra.



Se observa una concentración de comentarios principalmente con polaridad negativa en la parte superior y en el centro del gráfico; sin embargo, no solo es necesario saber qué tipo de polaridad tienen los comentarios sino saber la polaridad de los actores que mencionan, por lo que se obtiene la Figura 6, encontrando una gran concentración de menciones a Gustavo Petro quien ocupó el segundo lugar en las elecciones presidenciales en Colombia para el periodo 2018-2022.

Proyecto Hidroituango

nizo que EPM informara
s. La Revista Dinero² en
s señalan que tendrá un
entre \$1,5 billones y \$2
ó en el primer organismo
o y decidió degradar la
e BBB+ a BBB³.

confianza en el proyecto firmado entre Empresas Píctico RCN radio en su convenio en los municipios pretende adicionalmente comprendiendo procesos de reestructura en servicios en talleres, encuentros

un acuerdo que une las
el IDEA, la Alcaldía de
transformar la zona de
habitantes, convocando

o-económico-de-

ianza-epm-155755#OP

para-recuperar-la-

a la participación ciudadana y al aprovechamiento de los recursos humanos y naturales del territorio.

6. Conclusiones

Los resultados de esta investigación empírica muestran que sobre fenómenos que ocurren en la gestión de proyectos y la confianza en los mismos, puede influir el contexto de las redes sociales digitales a través del análisis de los comentarios y menciones encontrados en la red de Twitter y su polaridad, por lo que la implementación de métodos y técnicas de AS y ARS permiten explotar el potencial del contenido disponible en la web.

El comportamiento colectivo subyacente a las redes sociales tiene un crecimiento exponencial, lo cual es sin duda una fuente de conocimiento que debe investigarse más a fondo y la aplicación e integración de técnicas computacionales avanzadas que exploran el potencial del análisis estructural de redes sociales puede ser un camino para avanzar en propósitos como la identificación de la confianza en las empresas y sus proyectos.

El estudio de la evolución del Análisis de Redes Sociales (SNA) y el análisis de la subjetividad, permite observar la notable incidencia que ha tenido en su desarrollo, disciplinas naturalmente enfocadas en el comportamiento humano y en el estudio de las organizaciones. La gestión de proyectos puede verse afectada por los comentarios en redes sociales y depende del análisis de confianza que se pueda evaluar para la toma de decisiones.

Para el proyecto analizado sobre Hidroituango se encuentra que la confianza fue uno de los factores identificados por EPM como fundamental para mejorar el relacionamiento con las comunidades afectadas y por eso adelanta el convenio “Ambiente para la vida” y otros convenios firmados con la Gobernación de Antioquia, la Alcaldía de Medellín, entre otros. La influencia de actores de diferentes ámbitos en redes sociales tuvo una repercusión en su reputación e imagen, lo cual se ve traducido también en el aumento de tiempo del proyecto y sobrecostos.

Agradecimientos

Este documento se realizó gracias al trabajo conjunto del Grupo Internacional de investigación en informática Comunicaciones y Gestión del conocimiento (GICOGE) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y del grupo de Investigación LUMON LV TECH.

Referencias

- Abdel-Basset, M., Gunasekaran, M., Mohamed, M., & Chilamkurti, N. (2019). A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. *Future Generation Computer Systems*, 90, 489–502. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.035>

- Atkinson, R., Crawford, L., & Ward, S. (2006). Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International Journal of Project Management*, 24(8), 687–698. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.09.011>
- Bahill, A. T., & Madni, A. M. (2016). Risk Analysis and Management. In *Tradeoff Decisions in System Design*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43712-5>
- Burt, R. S., Kilduff, M., & Tasselli, S. (2013). *SOCIAL NETWORK ANALYSIS: Foundations and Frontiers on Advantage*. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143828>
- Cercel, D.-C., & Trausan-Matu, S. (2014). Opinion Propagation in Online Social Networks: A Survey. *Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14)*, 11:1–11:10. <https://doi.org/10.1145/2611040.2611088>
- David Nuñez-Gonzalez, J., Graña, M., & Apolloni, B. (2015). Reputation features for trust prediction in social networks. *Neurocomputing*, 166, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.10.099>
- Enyinda, C. I. (2016). *Quantitative Risk Analysis for International Project Management and Programs in an Emerging Economy*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43434-6_69
- Freeman, L. C. (2004). *The development of social network analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2005.01.010>
- Golbeck, J. (2009). *Introduction to Computing with Social Trust*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-356-9>
- Gudela Grote. (2009). *Management of Uncertainty. Theory and Application in the Design of Systems and Organizations*.
- Guo, S., Zhang, G., & Guo, Y. (2016). Social Network Analysis of 50 Years of International Collaboration in the Research of Educational Technology. *Journal of Educational Computing Research*, 53(4), 499–518. <https://doi.org/10.1177/0735633115611114>
- Hendriks, F., Bubendorfer, K., & Chard, R. (2015). Reputation systems: A survey and taxonomy. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 75, 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2014.08.004>
- Hillson, D. (2002). *Extending the risk process to manage opportunities*. Retrieved from www.elsevier.com/locate/ijproman
- Lik, M. (2002). Computational Models of Trust and Reputation: Agents, Evolutionary Games, and Social Networks. <https://doi.org/10.9734/AJOB/2018/38596>
- Mansouri, F., & Ikram, E. A. (2016). *A Modeling Framework for the Moroccan sociolect recognition used on the social media*. 1–5.

- Mcknight, D. H., & Chervany, N. L. (2000). *Association for Information Systems AIS Electronic Library (AISeL) What is Trust? A Conceptual Analysis and an Interdisciplinary Model What is Trust? A Conceptual Analysis and An Interdisciplinary Model*. Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/amcis2000%5Cnhttp://aisel.aisnet.org/amcis2000/382>
- Mislove, A. ., Marcon, M. ., Gummadi, K. P. ., Druschel, P. ., & Bhattacharjee, B. . (2007). Measurement and analysis of online social networks. *Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference, IMC*, 29–42. <https://doi.org/10.1145/1298306.1298311>
- Moreno Sandoval, L. G., & Pantoja Rojas, L. M. (2013). *Analytics applied to the study of reputational risk through the analysis of social networks (Twitter) for the El Dorado airport in the city of Bogotá (Colombia)*.
- Nguyen, D. ., Doğruöz, A. S. ., Rosé, C. P. ., & de Jong, F. . (2016). Computational sociolinguistics: A survey. *Computational Linguistics*, 42(3), 537–593. https://doi.org/10.1162/COLI_a_00258
- Pajares, J., Poza, D., Villafañez, F., & López-Paredes, A. (2017). *Project Management Methodologies in the Fourth Technological Revolution*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55889-9_7
- Ravi, K.a b, & Ravi, V. . (2015). A survey on opinion mining and sentiment analysis: Tasks, approaches and applications. *Knowledge-Based Systems*, 89, 14–46. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.015>
- Ravi, Kumar, & Ravi, V. (2015). A survey on opinion mining and sentiment analysis: Tasks, approaches and applications. In *Knowledge-Based Systems* (Vol. 89). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.015>
- Raz, T., Shenhar, A. J., & Dvir, D. (2002). Risk management, project success, and technological uncertainty. *R and D Management*, 32(2), 101–109. <https://doi.org/10.1111/1467-9310.00243>
- Razi, P. Z., Ali, M. I., & Ramli, N. I. (2019). Overview of analytical hierarchy process decision making method for construction risk management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 244(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012034>
- Rossetti, G., Guidotti, R., Miliou, I., Pedreschi, D., & Giannotti, F. (2016). A supervised approach for intra-/inter-community interaction prediction in dynamic social networks. *Social Network Analysis and Mining*. <https://doi.org/10.1007/s13278-016-0397-y>
- Saunders, F.C., Gale, A.W. and Sherry, A. H. (2013). Understanding Project Uncertainty in Safety-critical Industries. *PMI Global Congress, 22-25th April, Istanbul, Turkey*, (April), 1–13. Retrieved from <http://fionasaunders.co.uk/wp-content/uploads/2013/04/Understanding-Project-Uncertainty-in-Safety-critical-Industries.pdf>

- Scott, J. (2011). Social network analysis: developments, advances, and prospects. *Social Network Analysis and Mining*, 1(1), 21–26. <https://doi.org/10.1007/s13278-010-0012-6>
- Seppänen, R., Blomqvist, K., & Sundqvist, S. (2007). Measuring inter-organizational trust-a critical review of the empirical research in 1990-2003. *Industrial Marketing Management*, 36(2), 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.09.003>
- Sherchan, W., & Paris, C. (2013). *A Survey of Trust in Social Networks*. 45(4), 1–33.
- Tsytsarau, M., & Palpanas, T. (2012). Survey on mining subjective data on the web. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24(3), 478–514. <https://doi.org/10.1007/s10618-011-0238-6>
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). Social Network Analysis: Methods and Applications. In *Sociology The Journal Of The British Sociological Association*. <https://doi.org/10.1525/ae.1997.24.1.219>
- Wiebe, J., & Wilson, T. (2002). Learning to disambiguate potentially subjective expressions. *Proceedings of the 6th Conference on Natural Language Learning Volume 20 (COLING-02)*, 20, 1–7. <https://doi.org/10.3115/1118853.1118887>
- Wilson, T. A. (2008). *FINE-GRAINED SUBJECTIVITY AND SENTIMENT ANALYSIS : RECOGNIZING THE INTENSITY , POLARITY , AND ATTITUDES OF PRIVATE STATES* by Theresa Ann Wilson Master of Science , University of Pittsburgh , 2001 Submitted to the Graduate Faculty of School of Arts and Sci.
- Zaki, M. J. (2011). *Social Network Data Analytics*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8462-3>
- Zhao, Y., & Kou, G. (2014). Bounded confidence-based opinion formation for opinion leaders and opinion followers on social networks. *Studies in Informatics and Control*, 23(2), 153–162.

Diseño de simulador social para la identificación de características y tipos de personalidad de estudiantes universitarios

Margarita Ramírez Ramírez¹, Felipe Lara-Rosano², Luis Manuel Cerdá Suárez³

maguiram@uabc.edu.mx

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional, Tijuana, B.C., México

² Universidad Autónoma de México, Centro de Complejidad, Ciudad de México

³ Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), Dirección postal: Avenida de La Paz, 137. Código postal: 26006-Logroño (La Rioja); email: luis.cerda@unir.net; teléfono: +34656319914.

Vinculación del segundo autor, residencia, código postal, Madrid, España.

Pages: 843–855

Resumen: El presente artículo muestra el análisis documental sobre teorías de personalidad y la descripción del indicador de personalidad de Myers-Briggs, sus posibles combinaciones y la identificación de cada uno de los componentes de las dieciséis combinaciones, se ha conceptualizado un simulador social, sus características además del modelado conceptual de diseño de la identificación del rasgo predominante de personalidad realizado con el simulador social Stella, el cual permite identificar los rasgos de personalidad de los jóvenes universitarios a partir del test seleccionado, se describen como ejemplo de igual modo las variables de una personalidad extrovertida y una personalidad emocional

Palabras-clave: Simulador social, personalidad, agentes.

Social simulator design for the identification of characteristics and personality types of university students

Abstract: This article shows the documentary analysis on personality theories and the description of the Myers-Briggs personality indicator, its possible combinations and the identification of each of the components of the sixteen combinations, a social simulator has been conceptualized In addition to the conceptual design modeling of the identification of the predominant personality trait carried out with the Stella social simulator, which allows the identification of the personality traits of young university students from the selected test, they are described as an example in the same way. variables of an outgoing personality and an emotional personality

Keywords: social simulator, personality, agents

1. Introducción

El ser humano es un ser biopsicosocial, conformado por elementos y factores que determinan a la personalidad, la forma de relacionarse con los demás, así como la manera de alcanzar las metas u objetivos definidos.

La personalidad del ser humano está conformada por la forma en cómo se relaciona con los demás, cómo reacciona ante estímulos del medio ambiente, así como los rasgos físicos y psicológicos que lo conforman. Es posible considerar que la herencia, el medio ambiente y la situación que le toca vivir juegan un papel determinante en la identificación de la personalidad del ser humano.

Para (Robbins, Judge, 2013) la teoría hereditaria afirma que la explicación definitiva de la personalidad del individuo se encuentra en la estructura molecular de los genes situados en los cromosomas. Según los estudios la herencia, determina la personalidad del individuo, así como la timidez, miedo y aflicción, Sin embargo; existen otros factores que influyen de manera determinante y estos son: el ambiente, el lugar en el cual se desarrolla, la cultura en la que se forma, las reglas o normas establecidas ya sea sociales o familiares, los valores que se reciben de generación en generación y la situación que le toca enfrentar día a día. El comportamiento de un ser humano está modelado por la personalidad y las experiencias de aprendizaje por las que ha pasado. Existen elementos que pueden determinar a la personalidad como son: temperamento, carácter y medio ambiente, así como la influencia del medio ambiente.

En cada uno de estos elementos es posible identificar variables que influyen y determinan la personalidad como son las características biográficas (Edad, sexo, Estado civil, rasgos físicos, etc.), las habilidades intelectuales así como las físicas. Un simulador social puede ser útil en la descripción e identificación de tipos de personalidad. El presente artículo muestra las características de un simulador social y el modelado del indicador de personalidad de Myers Briggs con las variables incluidas.

2. Objetivo general

Desarrollo de un simulador social que identifique las características de personalidad en base a indicadores de personalidad y la relación entre factores que determinan la motivación.

2.1. Objetivos específicos

- Elaborar el modelado de los procesos involucrados en la determinación de tipo de personalidad.
- Elaborar el modelado de los procesos involucrados en el proceso de motivación.
- Implementación y pruebas del simulador social

2.2. Justificación

Lo ideal en un ambiente educativo es tener el conocimiento de las características de personalidad de los estudiantes, así como el estilo de aprendizaje, tipo de motivación

que los influye, esto nos permitirá apoyar en la generación de condiciones favorables para dar atención a los estudiantes.

El utilizar una herramienta como el simulador social que permita determinar el tipo de personalidad preponderante del estudiante, generará entre otras acciones un ahorro de tiempo, al poder analizar sus características y focalizar el tipo de atención requerida por los estudiantes, en lugar de esperar a que situaciones extraordinarias se den para poder identificar personalidad y características de los estudiantes

3. Simulador social

Según autores como (Berná 2002, y Villota, 2005), la simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema, que consiste en la utilización de software, para generar aplicaciones que permiten simular situaciones semejantes a la realidad y realizar experimentos con ésta, con el propósito de entender el comportamiento del sistema. Un simulador social tiene características como que es una herramienta capaz de proporcionar al usuario una base para analizar modelos de distintas aplicaciones y es una herramienta confiable y útil en la toma de decisiones. Con un simulador social es posible realizar experimentación y realizar estudios en diferentes áreas, ofrece ventajas y permite construir modelos simplificados de la realidad para su manipulación y análisis. Un simulador social permite la interacción con la realidad y una retroalimentación inmediata (González y Gómez, 1994). A continuación se agrega información sobre la herramienta Stella, que es un programa de simulación por computadora.

3.1. Stella

Stella es un programa de simulación por computadora, que proporciona un marco de referencia y una interface grafica de usuario para la observación e interacción cuantitativa de las variables de un sistema.

La interface se puede utilizar para describir y analizar sistemas biológicos, físicos, químicos o sociales muy complejos. Complejidad que se puede representar muy bien, con solo cuatro elementos o bloques de construcción: stock, flujo, conector y convertidor (Cervantes, 2009).

Los componentes principales en stella son stock, flujo, convertidor, conector, enseguida se describe de manera muy genérica cada elemento:

Stock: Es un símbolo general para cualquier cosa que acumula o consume recursos.

El Flujo es la tasa de cambio de un stock, esto es valores que ingresan y salen y modifican el stock. El convertidor se utiliza para tomar datos de entrada y manipularlos para convertir esa entrada en alguna señal de salida. El conector es una flecha que le permite a la información pasar entre: convertidores; stocks y convertidores; stocks, flujos y convertidores. Un conector cuya dirección va de un convertidor 1 a un convertidor 2 significa que el convertidor 2 es función del convertidor 1. Esto es, el convertidor 1 afecta al convertidor 2. En la figura No 1, se muestran los elementos que intervienen en un proceso implementado en Stella.

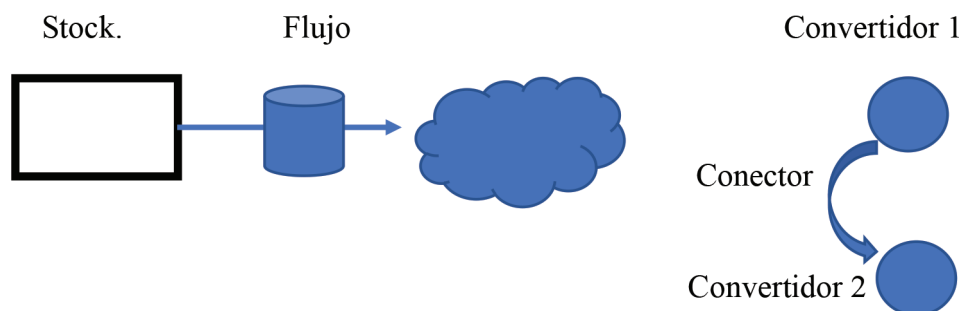


Figura 1 – Elementos básicos de Stella

4. Test de personalidad.

La teoría fenomenológica de la personalidad, a diferencia del psicoanálisis, considera que el ser humano no debe ser comprendido como resultado de conflictos ocultos e inconscientes sino que tiene una motivación positiva y que, conforme a cómo evoluciona en la vida, el hombre va logrando obtener niveles superiores de funcionamiento, teniendo en cuenta que la persona es responsable de sus propias actuaciones y por ende de las consecuencias que le sobrevienen. Dos de los teóricos importantes de esta comprensión de la personalidad son Carl Rogers y Gordon Allport. (Merfi, R., Otros, 2009).

Existen diferentes rasgos de la personalidad, se han realizado diferentes estudios y se han identificado miles de características individuales. Esta cantidad de características hace casi imposible predecir el comportamiento de una persona. Se realizaron diferentes análisis hasta que se lograron identificar 16 características que se pueden reconocer como características firmes y constantes que permiten predecir el comportamiento de una persona en situaciones específicas.

A estas características se les reconoce con el Indicador de tipos MYERS-BRIGGS (MBTI), el cual es un inventario de preferencias que permite identificar el tipo de personalidad y está basado en las dicotomías expuestas en la teoría de Carl Jung.

Es la personalidad un factor importante en la motivación de la persona, esta le permite al individuo enfrentar las situaciones y sucesos y desempeñarse para alcanzar su meta. La motivación está estrechamente relacionada con el desarrollo del ser humano y esta es posible reconocerla por la interacción de las personas con las distintas situaciones, la motivación varía de persona a persona y la personalidad puede ser un factor que determina la intensidad o dirección de la motivación. Es posible identificar como factores primordiales de la motivación, la intensidad, la persistencia y la dirección para alcanzar metas y estos elementos pueden ser variables o indicadores de acuerdo al tipo y característica de la personalidad.

Hablar de las características personales, biográficas, psicológicas, físicas, situaciones que influyen en la persona y los rasgos de personalidad no es un tema simple, es un tema que por sus condiciones es sumamente complejo, y es importante identificar la complejidad y las características de un sistema complejo.

Partiendo del concepto de un sistema, podemos identificar a estos como el conjunto de elementos o partes que interaccionan entre sí a fin de alcanzar un objetivo concreto, existe entre los elementos influencia mutua, de manera que el comportamiento de cada uno de ellos influye o repercute en los demás.

Para que un sistema sea descrito deben ser identificadas sus partes, las interacciones y relaciones entre ellas, así como el valor de cada uno de sus elementos y sus transiciones, esto es las funciones y la estructura de un sistema.

El uso de las teorías de sistemas como una metodología de descripción y análisis se origina en el impulso para simplificar la realidad y comprender los eventos naturales. Las teorías de sistemas intentan unir diferentes disciplinas por su rango de aplicaciones y al mismo tiempo actuar como una plataforma para perspectivas multidisciplinarias. (Ludwig von Bertalanffy, creador) (Dekkers,2015)

A partir de las diferentes teorías de personalidad surge en los años 40's un test de personalidad denominado Myers-Briggs o (MBTI, por sus siglas en inglés) creado por Katherine Cook Briggs e Isabel Briggs Myers basadas en la teoría de Carl Jung, este indicador de personalidad es una herramienta que permite evaluar los rasgos psicológicos y de la personalidad de un individuo.

Chiavenato (2009) comenta que la principal preocupación de las organizaciones se centra en la medición, evaluación y monitoreo de cuatro aspectos generales: los resultados, el desempeño, las competencias y los factores críticos.

De acuerdo a la teoría de Carl Jung, la tipología psicológica de las personas se clasifica en 16 tipos de personalidad, integrada por las posibles combinaciones de cuatro características principales de la persona.

Es este indicador el que se ha seleccionado para realizar el diagnóstico de tipo de personalidad de estudiantes universitarios. A continuación se describen las tipologías que se presentan en este indicador.

4.1. La Tipología muestra las siguientes clasificaciones:

Introvertido: El individuo centra su atención hacia adentro, a sus propios pensamientos, de manera común se alejan de las personas, y del mundo exterior, son muy selectivos y utilizan su propia perspectiva.

Extriovertido: Dirigen su energía y atención hacia afuera, a las personas y experiencias del mundo, se relacionan fácilmente con los demás.

Emocionales. Describen el proceso de evaluar una idea o evento, consideran si es agradable o no, bueno o malo, involucran deseos y valor de las cosas.

Racionales. Actividad intelectual que produce una serie de ideas, entiende las situaciones e interpreta estímulos por medio de la lógica y la razón.

Sensacionales. Experimentan los estímulos sin evaluación. Se pone atención en los detalles y sabe lo que reciben los sentidos.

Intuitivos. Involucran la percepción sin hacerse conscientes. Se enfocan en la imagen completa, sin poder definir porque lo comprenden de esa forma.

Estructurados. Persona con estructura, organizados, ordenados, poco flexible.

Perceptivos. Personalidad que recibe información a través de sus sentidos. Este indicador muestra la identificación de personalidad desde diferentes factores, tales como, la preferencia para socializar, las cuales pueden ser introvertido (I) o extrovertido (E), de acuerdo a la preferencia para reunir información pueden ser sensoriales (S) o Intuitivos (N), en base a la toma de decisiones, es posible ser Racionales (T) o Emocionales (F), y en base a la forma de organizar su vida en Estructurados (J) y Perceptivos (P). En base a las posibles combinaciones que el ser humano puede tener, se obtienen dieciséis combinaciones o tipos de personalidades, es posible ser ISTJ (Introvertido, Sensorial, Racional y Estructurado)

ISTJ	ISFJ	INFJ	INTJ
ISTP	ISFP	INFP	INTP
ESTP	ESFP	ENFP	ENTP
ESTJ	ESFJ	ENFJ	ENTJ

Tabla 1 – Tipos de personalidad

5. Metodología

En esta sección se presenta de manera general información relativa al proceso utilizado en el desarrollo del modelado de simulador social para determinar los tipos de personalidad preponderante.

Para lograr los objetivos se siguieron las siguientes fases:

1. Fase inicial: Revisión de distintos enfoques y teorías de personalidad, realizar la elección del test para la construcción del modelo, análisis comparativo de simuladores existentes.
2. Fase diseño de modelado. Selección de la herramienta, selección de contenidos a modelar, creación del modelo basado en variables y características de cada tipo predominante de personalidad.

5.1. Modelo Conceptual

La construcción del modelo conceptual es el proceso epistemológico en el que se integran los conceptos utilizados y es necesario integrar paradigmas teóricos disciplinarios que abarquen diferentes aspectos de la problemática como pueden ser aspectos técnicos, sociales, económicos, administrativos, políticos, etc. que sirven de guía para la construcción (Lara-Rosano, 2017).

5.2. Modelado general

Se realizó en primer lugar el modelado general en el cual se integran todos los elementos que conforman al Indicador de Myers Briggs, las variables de personalidad en base al

test, se han determinado cada una de las variables involucradas en este test y una vez resuelto, el sistema desplegará los tipos y parámetros de la personalidad predominante de una persona, en este caso de un estudiante universitario. En la figura no. 2 se observa el modelo general que representa este test de personalidad.

Se codificaron cada uno de los Ítems del test de personalidad, asignándose variables, a las cuales se insertan valores de acuerdo a las respuestas obtenidas. El stock central se denominó Personalidad del alumno y este es alimentado mediante ocho flujos, que son los distintos estilos preponderantes de Personalidad

5.3. Modelado general de Indicador Personalidad

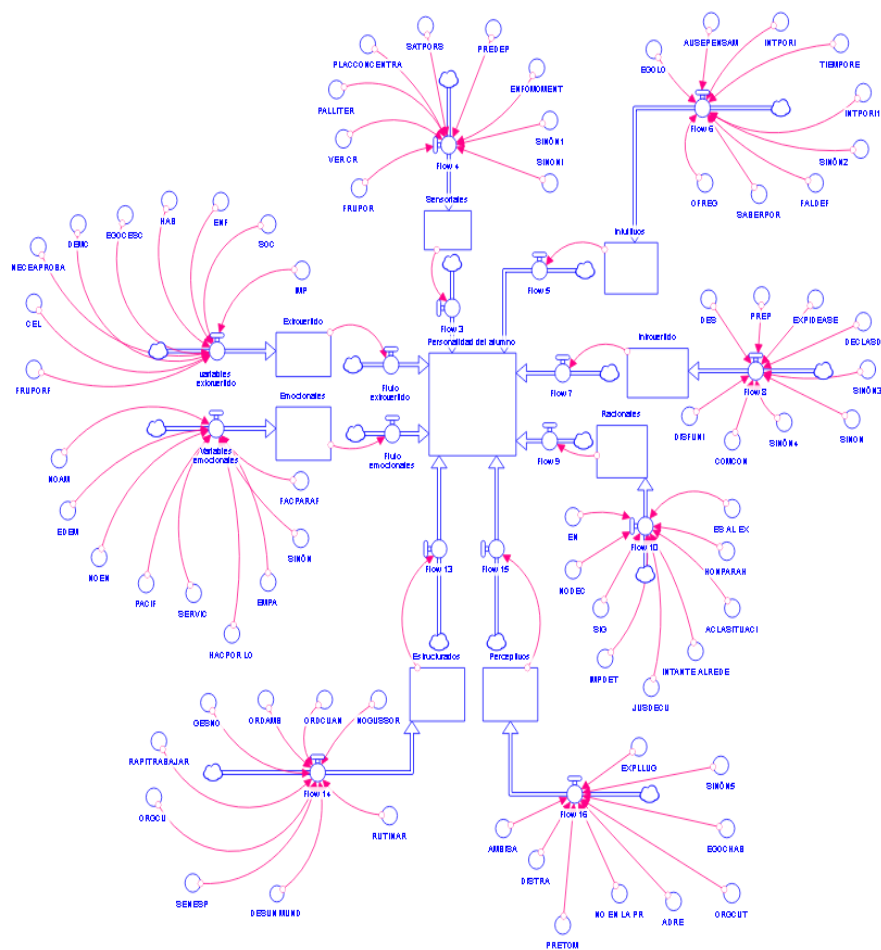


Figura 2 – Modelado general Identificación de personalidad

En seguida se describe alguno de los flujos que conforman el Indicador como muestra, en este caso es, el modelo de flujo extrovertido.

5.4. Modelo de Flujo extrovertido

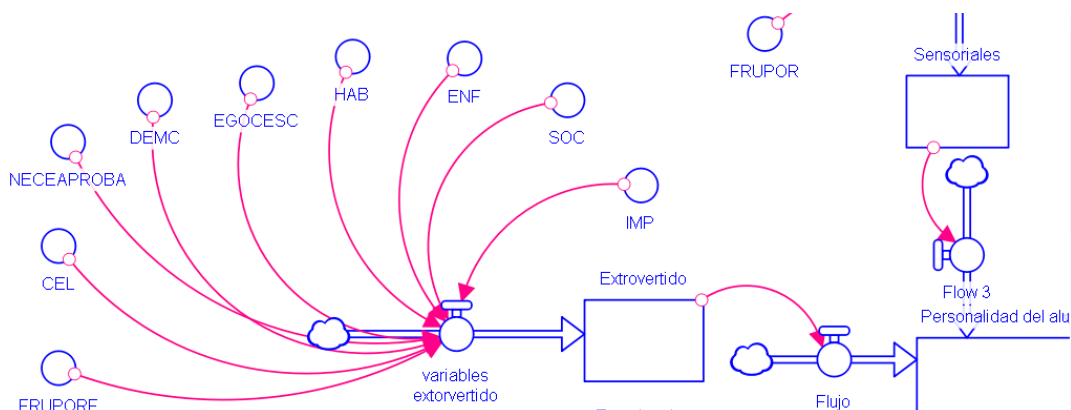


Figura 3 – Modelado del flujo de variables extrovertido

En este flujo se encuentra alimentado por un stock con el nombre “extrovertido”, este stock integra y presenta el nivel o puntaje que presenta la persona con las características de una personalidad extrovertida, para la obtención de estos datos el stock es alimentado mediante otro flujo el cual tiene como nombre “variables extrovertido”, y para que este flujo reciba datos se le han asignado nueve convertidores o variables los cuales a continuación se presentan:

1. IMP (Impulsividad para hablar)
2. SOC (Sociable)
3. ENF (Enfoque en lo que hace)
4. HAB (Saber hablar)
5. EGOCESE (Egocentrismo al escuchar)
6. DEMC (Democrático en cuanto a ideas)
7. NECEAPROBA (Necesidad de aprobación)
8. CEL (Utilizar celulares solo para acordar con alguien)
9. FRUPORF (Frustración por no expresarse)

Es importante mencionar que cada variable se inicializa en 0, esto debido a que aplicar un test al alumno se contestará mediante un “sí” o “no”, en el cual el sí será un valor de 1, sumando así todas las variables y teniendo un total, para posteriormente realizar la evaluación y poder determinar el tipo determinante.

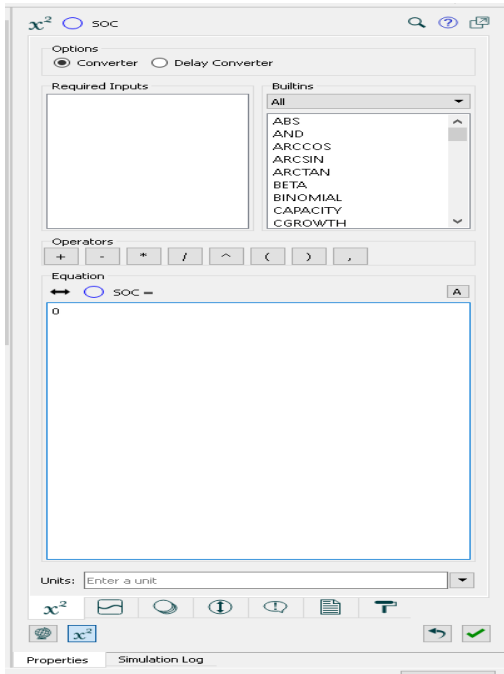


Figura 4 – Integración de variables

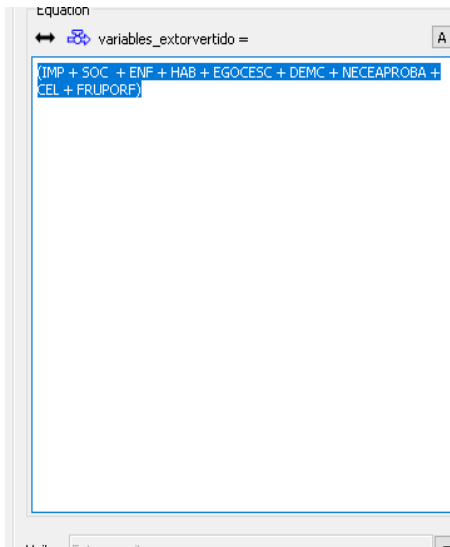


Figura 5 – Fórmula determinación tipo de Personalidad

5.5. Modelo de Flujos emocionales

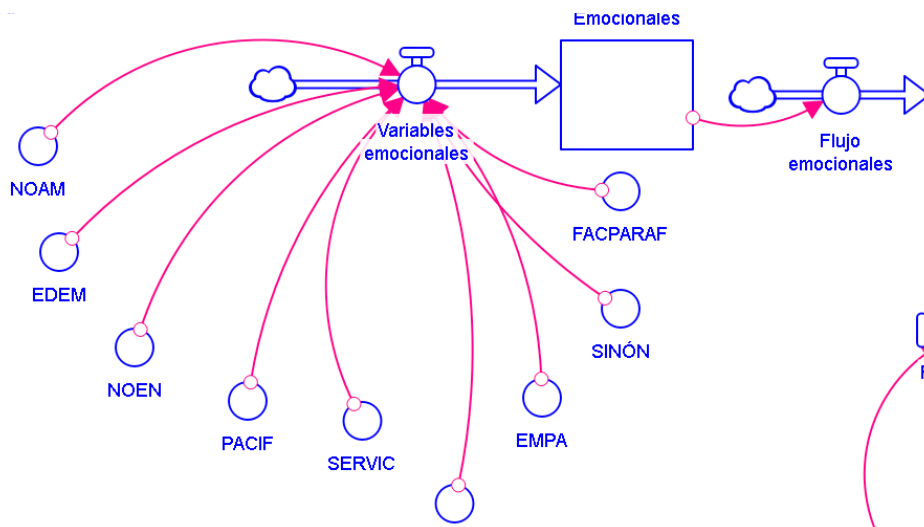


Figura 6 – Modelado del flujo de variables emocionales

El flujo observado en la figura número 2, es “flujos emocionales” este flujo es alimentado por un stock con el nombre “emocionales”, cabe mencionar que cada stock representa una grafica la cual podremos ver cada una de las personalidades ya que cada una tiene un stock propio.

Emocionales se encuentra alimentado por un flujo del nombre “variables emocionales”, y para poder insertarle datos es necesario usar los convertidores o variables las cuales son 9 y tienen como nombre:

- NOAM (No cree en la definición del amor)
- EDEM (Educación emocional)
- NODUDI (No duda en retirar lo dicho)
- PACIF (Pacífico)
- SERVIC (Servicial)
- HACPORLO (Hacer más por los demás)
- EMPA (Empatía)
- PREGPPREO (A menudo se pregunta si alguien se preocupa por lo que Ud. desea, aunque tenga dificultad en decírselo a alguien.)
- FACPARAF (Facilidad para recordar rostros)

Es importante mencionar que cada variable esta inicializada en 0 por lo cual el objetivo de esta es que si el alumno cumple con una variable de las anteriores mencionadas se convertirá en un 1 esto para identificar que a este ítem el estudiantes le ha dado un sí.

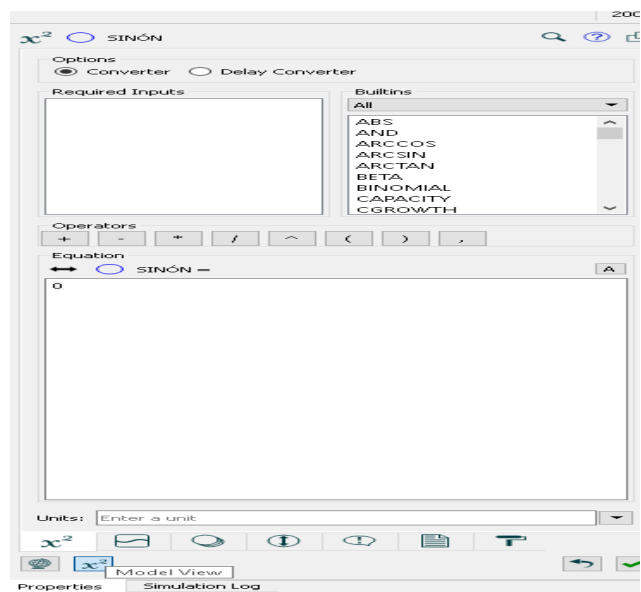


Figura 7 – Integración de variables Personalidad emocional

La formula utilizada para el funcionamiento de este stock al igual que la anterior consiste en la suma de todas las 9 variables con lo cual sabremos cual es el aspecto o personalidad dominante del alumno al momento de llegar a comparar todas

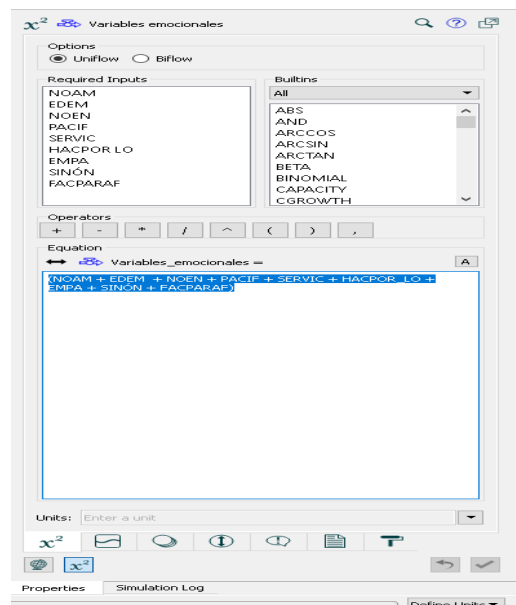


Figura 8 – Integración de variables emocionales.

6. Conclusiones

En este artículo se muestra el avance de este proyecto de investigación, en el cual se integraron las características de el test de personalidad, se han representado cada uno de los ítems como variables presentadas en el modelo general, representado a través de la herramienta Stella, además de mostrar la representación de dos tipos de personalidad como es la personalidad extrovertida y personalidad de tipo emocional, con la integración de sus variables, se muestra la fase de modelación quedando pendiente la integración y evaluación de los rasgos predominantes de personalidad, en el cual se incluyen las posible cuatro variantes específicas.

Referencias

- Berná, y otros (2002). Redes de Computadores para Ingenieros en Informática. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Cervantes, S., Chiappa C.,Dias,M. Stella, software para modelación dinámica en Biología, UNAM, 2009.
- G. Tzafestas. (2017). Systems, Cybernetics, Control and Automation. Denmark: River Publishiers. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=GvQxDwAAQBAJ&pg=PA122&dq=what+is+cybernetics?&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEw iu-rm7t5reAhUHDOWKHUmdAHEQ6AEIOTAD#v=onepage&q=what%20is%20 cybernetics%3F&f=false>
- González, J. y Gómez, A. (1994). Características fundamentales de los softwares dedicados a la enseñanza. La Habana: CESoftE.
- Hsieh, Yau&Lin. (2014). Study on real-time extension fault detection for a XXY stage by using chaos synchronization. 22 de Octubre de 2018, de El sevier Sitio web: <http://www.elsevier.es/en-revista-journal-applied-research-technology-jart-81-articulo-study-on-real-time-extension-fault-S1665642315000097>
- Lara-Rosano F.. (2016). Las ciencias de la complejidad en la solución de nuestros problemas sociales. Sistemas, cibernética e informática, Vol. 36, 50. Recuperado: <http://www.iiis.org/CDs2016/CD2016Spring/papers/CB076IQ.pdf>
- Lara-Rosano, F. (2017). Teorías, métodos y modelos para la Complejidad, Ediciones Colofón, México.
- Li, Mao,Zeng&Wang. (2008). Agent-Based Social Simulation and Modeling in Social Computing . En Intelligence and security informatics (392). Taiwan: Springer. Recuperado de:[https://books.google.com.mx/books?id=Tj2SBQAAQBAJ&pg=PA77&lpg=PA77&dq=C.C.+Yang+et+al.+\(Eds.\):+ISI+2008+Workshops,+LNCS+5075,+pp.+77%E2%80%93382,+2008.+%C2%A9+Springer-Verlag+Berlin+Heidelberg+2008&source=bl&ots=-lUnMCl3V4&sig=GAM-UkE8funL-m4xW6ouiib5Qgm o&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwib9p38vZreAhUIXxoKHVerDEkQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=Tj2SBQAAQBAJ&pg=PA77&lpg=PA77&dq=C.C.+Yang+et+al.+(Eds.):+ISI+2008+Workshops,+LNCS+5075,+pp.+77%E2%80%93382,+2008.+%C2%A9+Springer-Verlag+Berlin+Heidelberg+2008&source=bl&ots=-lUnMCl3V4&sig=GAM-UkE8funL-m4xW6ouiib5Qgm o&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwib9p38vZreAhUIXxoKHVerDEkQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q&f=false)

- Merfi, R, Montaña, S. Palacios,C., Gantiva,D., Teorías de la Personalidad.Un análisis historico del concepto y su medición, *Psychologia. Avances de la disciplina*, Redalyc, 2009.
- Moreno, Velázquez . (2012). La sociedad del conocimiento: inclusión o exclusión. *Revista educación* , Vol. 36, Pag. 24. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/440/44024857006.pdf>
- Rob Dekkers. (2015). *Applied Systems Theory*. UK: Springer. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=CavNDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Systems+theories&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwj4wtYav5reAhUK2aQKHTWyBt8Q6AEIPjAD#v=onepage&q=Systems%20theories&f=false>
- Robbins S.P, Judge,T.A(2013). *Comportamiento organizacional*, Pearson, 2013.
- Robbins,S.P., Judge,T.A.(2013), *Comportamiento Organizacional*, Editorial Pearson, México.
- Saldarriga, Aguirre. (2014). *Sistemas de innovación como sistemas complejos*. Medillin: Instituto Tecnológico Metropolitano. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=Vfc-DwAAQBAJ&pg=PA73&dq=Sistemas+complejos+adaptativos&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwjVvcvf3JDeAhWSDuwKHSrMCsUQ6AEIMTAC#v=onepage&q=Sistemas%20complejos%20adaptativos&f=false>
- Vázquez, Escudero. (2010). *Empresa y administración*. Madrid, España: COPYRIGHT. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=u7LtU-BBPrC&pg=PA3&dq=concepto+innovacion&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwjFnZ_y25DeAhVFL1AKHXVyBNw4ChDoAQgqMAE#v=onepage&q=concepto%20innovacion&f=false
- Villota, O. (2002). *Centros de cómputo*. Recuperado de: http://www.cesim.cl/p3_otras_publicaciones/site/pags/20031109162234.html (10/05/2011).

Modelo de evaluación basado en evidencia para estimar el desarrollo del Pensamiento Computacional

Laura Orozco-García¹, Carolina González²

lmorozco@unicauca.edu.co, cgonzals@unicauca.edu.co.

^{1,2} Grupo de investigación en Inteligencia Computacional, Departamento de Sistemas, Universidad del Cauca, Cl. 5 #4-70, 190003, Popayán, Colombia.

Pages: 856–869

Resumen: El pensamiento computacional es una habilidad que ha adquirido gran relevancia porque brinda a los estudiantes herramientas para manejar información y desarrollar habilidades analíticas, lo que les permite desempeñarse en la sociedad actual. A pesar de la importancia del pensamiento computacional, una de las barreras para los docentes, al momento de incluirlo en su currículo, es que carecen de conocimientos acerca de cómo evaluarlo, mantener un registro del progreso de cada estudiante y facilitar su aprendizaje de acuerdo al desarrollo de la habilidad. Se propone un modelo, que a través de la evaluación de criterios permite al docente estimar el desarrollo de la habilidad en sus estudiantes. El modelo está establecido considerando el diseño de evaluaciones basadas en evidencia, que orienta la construcción de evaluaciones educativas considerando la evidencia proporcionada por el estudiante, para brindar una estimación precisa del desempeño, incluyendo información que es difícil de recolectar mediante procesos convencionales.

Palabras-clave: Pensamiento computacional; Modelo de evaluación; Diseño basado en evidencia.

Evidence-based assessment model to estimate the development of Computational Thinking

Abstract: Computational thinking is a fundamental ability that has acquired great relevance because it provides students with tools to manage information and develop analytical skills, which allows them to perform according to current society. Despite the importance of Computational thinking, one of the biggest barriers for teachers, when including it in their curriculum, is that they lack knowledge about how to evaluate it, keep track of each student's progress and facilitate their learning according to the development of the ability. An assessment model which facilitates the evaluation of different criteria allowing teachers to estimate the development of this ability of its students is proposed. The proposed assessment model is established considering Evidence-centered assessment design, this framework allows

constructing educational assessment considering evidence provided by students, in order to deliver a precise estimation of performance including information that is difficult to collect through conventional processes.

Keywords: Computational thinking; Assessment model; Evidence-centered design.

1. Introdução

El pensamiento computacional (CT por sus siglas en inglés, Computational Thinking) brinda a los estudiantes una manera de enfrentar los problemas y encontrar soluciones, vinculando diferentes áreas de conocimiento (Grover & Pea, 2013). Razón por la cual se ha considerado una habilidad esencial que debe ser incluida en el desarrollo de los estudiantes; esto representa un elemento vital de aprendizaje para la ciencia, la ingeniería y las matemáticas (Wing, 2010).

A pesar de que asociaciones educativas como la Sociedad Internacional de Tecnología en Educación (ISTE) y la Asociación de Profesores de Ciencias de la Computación (CSTA) desarrollaron una definición operacional de CT (Computer Science Teachers Association (CSTA) & International Society for Technology Education (ISTE), 2011), no existe un acuerdo formal de las habilidades que incluyen CT y sus estrategias de evaluación.

Existen diversas aproximaciones cuyo objetivo es fortalecer el CT (Atmatzidou & Demetriadis, 2015), (Weintrop et al., 2014), orientadas a desarrollar ejercicios basados en prácticas computacionales, sin incorporar mecanismos explícitos de evaluación, imposibilitando evidenciar con claridad el fortalecimiento del CT. Algunos estudios se enfocan en procesos de evaluación del CT mediante pruebas de selección múltiple, orales o escritas (Román-González, 2016), utilizando preguntas explícitas para evaluar el desarrollo de la habilidad. Otros presentan procesos de evaluación automática (Wolz, U., Hallberg, C., & Taylor, 2011), (Boe et al., 2013), (Moreno-León, Robles, & Román-González, 2015), cuyo objetivo es medir el desempeño de los estudiantes utilizando ejercicios de clase basados en prácticas de programación, enfocadas únicamente en la medición de tareas, sin permitir al docente hacer un seguimiento continuo del desempeño de sus estudiantes, además de estar limitadas a versiones de software específicas (Wolz, U., Hallberg, C., & Taylor, 2011).

En este artículo, se propone un modelo de evaluación que facilita a los docentes estimar el desarrollo del pensamiento computacional en sus estudiantes. El modelo está planteado siguiendo una metodología para el diseño de las evaluaciones que resalta el papel central del razonamiento probatorio en el diseño de éstas.

Este artículo está dividido de la siguiente manera: primero, se brinda un marco teórico que soporta conceptualmente el pensamiento computacional y la evaluación, segundo, se relacionan algunos estudios referentes a la evaluación CT, después se describe el modelo en tres etapas: caracterización de los elementos, definición del modelo y finalmente se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Marco teórico

2.1. Pensamiento computacional

El término Pensamiento Computacional (CT) fue popularizado por Jeannette M. Wing en 2006 (Wing, 2006), desde entonces se ha considerado como una habilidad que deben desarrollar todas las personas para lograr ser competitivos en la sociedad actual. A pesar de que no se ha llegado a un consenso acerca de la definición de CT, diferentes autores hacen referencia a éste.

Jeannette M. Wing define CT como todos los procesos del pensamiento que se involucran en la formulación y resolución de problemas y que estas soluciones se representan en una forma que puede ser desarrollada por un agente de procesamiento de información (Wing, 2008a). Además, como una habilidad que debe añadirse a la capacidad de análisis de cada estudiante un componente fundamental de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM), aprendizaje que incluye una serie de herramientas mentales que reflejan la amplitud del campo de la informática (Wing, 2010).

CT describe la actividad mental en la formulación de un problema, que admite una solución computacional y que puede ser llevada a cabo por un ser humano, una máquina o por la combinación de ambos. Se superpone al pensamiento lógico y el pensamiento sistémico, incluye pensamiento algorítmico, pensamiento en paralelo; involucrando así otros tipos de procesos de pensamiento como: razonamiento, composición, patrones, procedimiento, pensamiento recurrente, abstracción y generalización de instancias (Wing, 2008b).

La Sociedad Internacional para la Tecnología en la Educación (ISTE) y la Asociación de Maestros de Ciencias de la Computación (CSTA) (Computer Science Teachers Association (CSTA) & International Society for Technology Education (ISTE), 2011) establecieron una definición operativa para CT para Educación Básica y Media (K-12): “proceso de solución de problemas que incluye (pero no se limita a) (i) formulación problemas de manera que permitan usar computadores y otras herramientas; (ii) organización y análisis de datos de manera lógica; (ii) representación de datos mediante abstracciones; (iii) automatización de soluciones mediante pensamiento algorítmico”.

2.2. Evaluación educativa

La evaluación se refiere a estimar y verificar la enseñanza impartida, teniendo en cuenta los resultados y el proceso de desarrollo (Scriven, 1967). Según los autores en (Álvarez Méndez, 2001), la evaluación es la oportunidad para que los estudiantes pongan en práctica sus conocimientos; además, debe ser un proceso continuo, para garantizar que se actúe a tiempo y adecuadamente.

La evaluación formativa es una estimación que tiene como objetivo servir al perfeccionamiento de la enseñanza y facilitar las decisiones del proceso didáctico (Scriven, 1967), esta es un proceso llevado a cabo durante toda la enseñanza-aprendizaje y que facilita la realimentación con el fin de ajustar la enseñanza para mejorar el aprendizaje de los estudiantes (Bennett, 2011).

2.3. Diseño basado en evidencia

El diseño basado en evidencia (ECD: Evidence Centered Design) es un marco de referencia para construir evaluaciones educativas teniendo en cuenta la evidencia que proporciona el estudiante, para brindar una estimación precisa del desempeño dinámicamente y otra información que es difícil de recolectar y analizar con procesos convencionales (Mislevy, Almond, & Lukas, 2003).

Este diseño de evaluaciones es de utilidad cuando los conocimientos y habilidades a medir implican actuaciones complejas que implican múltiples pasos, tales como los requeridos en CT (Bienkowski, Snow, Rutstein, & Grover, 2015; Snow, Tate, Rutstein, & Bienkowski, 2017), y que se centra en la suposición de que la evaluación es esencialmente un argumento probatorio, para lo que se requiere la relación de los factores a evaluar con las acciones desempeñadas por los estudiantes (Shute & Ke, 2012).

2.4. Trabajos relacionados

El marco de referencia de CT y evaluación del aprendizaje a través del diseño propuesto por Brennan y Resnick en (Brennan & Resnick, 2012), involucra tres dimensiones claves: conceptos, prácticas y perspectivas computacionales. Los conceptos computacionales definidos en éste tienen una correspondencia directa con los bloques de Scratch. Las prácticas computacionales corresponden a la manera como el estudiante aborda el problema para programar. Las perspectivas computacionales se refieren a cómo perciben los estudiantes el proceso de resolución de problemas a través de la programación.

Para evaluar las dimensiones propuestas en contextos donde los estudiantes empleen Scratch, los autores proponen: análisis de proyectos, entrevistas basadas en artefactos-objetos y el diseño de escenarios.

Otros autores proponen aproximaciones para la evaluación de CT como herramientas automáticas y semiautomáticas, pruebas escritas, definiciones de sistemas, etc. Algunas de las propuestas se exponen a continuación:

Los autores en (Weintrop et al., 2014) proponen un conjunto de evaluaciones en línea diseñadas para el fortalecimiento de CT. Cada evaluación incluye herramientas interactivas que evidencian el poder de la computación y permiten a los estudiantes analizar los datos con visualizaciones dinámicas y explorar conceptos.

Fairy Assessment es un programa para analizar el pensamiento algorítmico, la abstracción y el modelado. Los autores describen los primeros resultados de la herramienta de evaluación para la medición del CT en estudiantes de Educación Media bajo un diseño de investigación experimental. Los resultados evidencian la necesidad de contar con un conjunto de problemas contextualizados, no predefinidos (Werner, Denner, & Campe, 2012).

Román-González propone una prueba para evaluar el CT en la que emplea un instrumento de respuesta múltiple con 28 preguntas y cuatro opciones de respuesta por pregunta. El autor expone que al tratarse de preguntas de opción múltiple, la prueba tiene limitaciones porque únicamente considera los niveles más bajos de complejidad de manera sumativa (Román-Gonzalez, 2015).

El desarrollo de una herramienta de medición de autoeficacia que puede predecir la habilidad de pensamiento computacional se describe en (Kukul & Karatas, 2019), los autores definen el grupo de elementos a evaluar, estos fueron seleccionados por un grupo de 11 expertos, quienes finalmente seleccionaron 4 factores y 18 elementos para medir la autoeficacia de CT en los estudiantes de secundaria.

Algunas herramientas relacionadas con la evaluación del CT para proyectos Scratch han sido desarrolladas por diferentes autores, en la Tabla 1 se presentan algunas que corresponden a Scrape (Wolz, U., Hallberg, C., & Taylor, 2011), Hairball (Boe et al., 2013), Dr Scratch (Moreno-León et al., 2015), Ninja Code (Ota, Morimoto, & Kato, 2016) y codOrama (Karvounidis, Argyriou, Ladas, & Douligeris, 2017), para cada una se ha provisto una descripción corta, se han identificado los elementos que consideran en sus evaluaciones y se exponen algunas ventajas y desventajas.

Herramienta y descripción	Elementos de evaluación	Ventajas y desventajas
<i>Scrape:</i> <i>Examina uno o varios archivos en Scratch 1.4.</i>	Determina si el bloque fue usado o no.	El resultado de todos los proyectos es muy limitado, ya que se basa en la presencia o falta de bloques. Su uso se limita a la versión 1.4.
<i>Hairball:</i> <i>Análisis estático.</i> <i>Arquitectura basada plug-ins.</i>	Encontrar código muerto Contar bloques Buscar código repetido Asignar una evaluación de desempeño	Esta herramienta permite la creación de más plug-ins. Es de código abierto Una de las desventajas es que se ejecuta únicamente por líneas de comando y su autor no soporta más la herramienta.
<i>Dr. Scratch:</i> <i>Basado en Hairball.</i> <i>Análisis dinámico.</i> <i>Página web gratuita disponible para la evaluación.</i>	Abstracción Paralelismo Pensamiento lógico Sincronización Control de flujo Interactividad con el usuario Representación de la información.	Evalúa más elementos, ya que contiene mejoras con respecto a Hairball. La plataforma web facilita el uso de la herramienta, Es de código abierto. Una desventaja es que su resultado es general y únicamente contempla pocos niveles de competencia.
<i>Ninja Code:</i> <i>Análisis dinámico.</i> <i>Página web gratuita disponible para la evaluación.</i>	Condicionales Bucles Procedimientos Procedimientos comunes Información Eventos Paralelismo Interfaz de usuario.	Considera más elementos que otras herramientas y más niveles de competencia. Es de código abierto. Entre las desventajas está que solo consideran tres tipos de proyectos en cuenta para dar el resultado de la evaluación. Hay poca documentación disponible en inglés.
<i>codOrama:</i> <i>Análisis dinámico.</i> <i>Tabla que representa los bloques programados.</i>	Interactividad con el usuario Sincronización Paralelismo	Esta herramienta facilita la visualización y comparación del código en Scratch. La desventaja es que se centran en la evaluación de pocos criterios. Requiere la intervención del docente para el análisis de la tabla entregada.

Tabla 1 – Herramientas para evaluar proyectos Scratch

3. Modelo de evaluación

Debido a que los docentes no cuentan con pautas y recomendaciones que les facilite el proceso de evaluación de CT, se dificulta la incorporación de prácticas educativas que estimulen su desarrollo. Con el fin de brindar una guía a los docentes, se propone un modelo que facilita el proceso de evaluación, a través de la estimación del desarrollo de CT.

El método empleado establece tres partes fundamentales para su descripción, se consideran: primero, establecer los criterios de CT a evaluar y definir los medios para su evaluación; segundo, describir un modelo teórico que guíe a los docentes en el proceso y tercero, el despliegue de la implementación, que se presenta en otro artículo referenciado en la etapa tres.

3.1. Etapa I. Caracterización de elementos

La caracterización de los criterios mínimos para estimar el desarrollo de CT y sus mecanismos de evaluación se realizó a través de una revisión guiada, siguiendo la metodología planteada por Serrano en “Modelo integral para el profesional en ingeniería” (Serrano, 2005), la cual propone las fases preparatoria, descriptiva, interpretación por núcleos temáticos y construcción teórica global.

Fase Preparatoria

Se realizó a través de una investigación de tipo exploratoria sobre diferentes especificaciones teóricas, aproximaciones y herramientas, se consideraron los datos con mayor pertinencia sobre los criterios mínimos para estimar el desarrollo CT y sus mecanismos de evaluación. Este estudio se cumplió por medio de las actividades: (1) identificación de aportes teóricos, aproximaciones y herramientas relacionados con el desarrollo de CT y su proceso de estimación, fundamentados en la consecución de documentación técnica- científica que las respalda. (2) mapeo de términos, dada la heterogeneidad de términos se hizo necesario identificar el contexto de cada elemento brindado y relacionarlo con sus complementarios para encontrar correspondencias semánticas y (3) análisis de elementos, a través de la interpretación de componentes entre los objetos de estudio.

Fase Descriptiva

Se establecieron los componentes de la evaluación que se requieren conocer para su diseño. El método que condujo la revisión de los trabajos de investigación realizados acerca del pensamiento computacional, sus criterios y mecanismos de evaluación, fue un mapeo sistemático. El protocolo define que se deben hacer las preguntas de investigación para abordar en el trabajo, seguido de un proceso de selección en varios niveles Se establecieron las siguientes preguntas de investigación:

P1: ¿Cuáles son los criterios mínimos para la evaluación del aprendizaje de CT?

P2: ¿Qué mecanismos de evaluación han sido usados para la evaluación de CT?

P3: ¿Qué herramientas de evaluación automática o semiautomática se encuentran disponibles?

A pesar de que el estudio se basa en criterios mínimos y mecanismos, se hizo necesario realizar un mapeo de términos de los elementos que componen CT, con el fin de llegar a acuerdos en las definiciones. Para lo que se estableció la pregunta:

Po: ¿Cuáles son los elementos que componen CT?

Considerando las preguntas listadas, se establecieron una serie de palabras clave para realizar la búsqueda: pensamiento computacional, elementos de CT, habilidades de CT, evaluación de CT y herramientas de evaluación. La búsqueda se realizó en diferentes bases de datos como Google Académico, Ebsco, IEEE, Springer, ACM y ScienceDirect. Aplicando la búsqueda a: título, resumen y palabras clave, artículos y libros en inglés y español. Se encontraron trabajos relacionados con aportes teóricos, herramientas e implementaciones en el aula. Los criterios de selección fueron:

Po--> Co: Elementos de CT determinados.

P1--> C1: Criterios mínimos de CT definidos.

P2--> C2: Mecanismos empleados y probados con estudiantes en contexto escolar.

P3--> C3: Herramientas de evaluación de proyectos Scratch.

Después de aplicar los criterios de exclusión e inclusión, se descartaron algunos documentos, con los restantes se realizó una revisión donde se consideró el resumen, la introducción y las conclusiones, se incluyeron los encontrados en la bibliografía de los seleccionados y finalmente quedó un total 36 documentos entre artículos y libros. Que arrojaron un total de 73 elementos CT, 122 criterios mínimos y 30 mecanismos de evaluación. Que debido a su extensión no se incluyen en este documento.

Fase de Interpretación por Núcleos Temáticos

Se realizó el análisis basado en cada núcleo temático, para conseguir las evidencias y derivar resultados mapeo con respecto a los trabajos estudiados. Los núcleos temáticos definidos fueron: (1) autores conocedores del área, relacionado con trabajos donde los autores realizaron revisiones de bibliografía; (2) asociaciones educativas y universidades; (3) compañías dentro de la industria informática, como lo son Google y Microsoft; (4) aproximaciones como marcos de referencia y modelos; (5) herramientas diseñadas para evaluar CT o prácticas de programación y (6) propuestas de evaluación implementadas en el aula de clase.

Se determinó para todos los núcleos temáticos, que el criterio de selección para el mapeo de los elementos de CT fuera superar el 30% del porcentaje de uso (relacionado con el patrón de uso), se seleccionaron 11 elementos (Tabla 2). Para determinar los criterios mínimos y mecanismos de evaluación, se estableció seleccionar los relacionados con los 11 elementos de CT.

Fase de Construcción Teórica Global

Se depuraron los términos, se eliminaron ambigüedades y se establecieron similitudes para establecer el mapeo de los resultados obtenidos en esta etapa de caracterización. La Tabla 2 muestra el grupo de los elementos CT relacionados con criterios mínimos y los mecanismos de evaluación.

Elementos CT	Criterios mínimos	Mecanismos de evaluación sugeridos
Abstracción	Simplifica un problema ignorando detalles innecesarios Es capaz de generalizar por atributos Descompone el problema en partes pequeñas	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta, revisión de registros anecdóticos
Generalización de patrones	Realiza conexiones entre el problema actual y los problemas encontrados anteriormente	Entrevista, encuesta
Reconocimiento de patrones	Observa los elementos comunes y los reconoce	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta
Diseño de algoritmos	Genera secuencias de comportamientos que se repiten Plantea soluciones paso a paso para tomar entrada y producir la salida deseada	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta, observación directa
Descomposición	Fracciona un problema en varias partes y resuelve una a una por separado Aísla los atributos	Análisis automático, , análisis manual, entrevista, observación indirecta
Razonamiento lógico	Ejecuta acciones como consecuencia de un acontecimiento	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta
Paralelismo	Usa secuencias ejecutándose al mismo tiempo Reconoce la diferencia entre procesos paralelos y seriales	Análisis automático, análisis manual, observación directa Entrevista
Recolección de información	Recoge información en un contexto	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta
Análisis de información	Toma la información para manipularla, analizarla y visualizarla	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta
Representación de información	Emplea variables, listas y otras estructuras de datos	Análisis automático, análisis manual, observación indirecta
Depuración	Reconoce errores y es capaz de corregirlos	Entrevista, encuesta, observación indirecta

Tabla 2 – Elementos, criterios mínimos y mecanismos de evaluación de los elementos CT

3.2. Etapa 2. Definición del modelo

El propósito del proceso de evaluación es determinar en qué medida se están cumpliendo los objetivos relacionados con los aprendizajes que se espera logren los estudiantes. Para el diseño fue necesario acotar la evaluación, teniendo en cuenta a quienes va dirigida, el propósito específico, los elementos que se van a evaluar, de qué manera se hace, cuando y donde tiene lugar dicho proceso. La Figura (1) responde las preguntas relacionadas.

El modelo propuesto es una guía que sirve para evaluar continuamente los criterios mínimos que permiten estimar el desarrollo de CT en estudiantes en edad escolar, mediante mecanismos de evaluación que consideran las tareas realizadas por los estudiantes en sus prácticas computacionales en el aula de clase.



Figura 1 – Evaluación CT

La propuesta se compone de cuatro (4) fases que permiten el desarrollo del proceso de evaluación. Los docentes y estudiantes tienen actividades específicas dentro del modelo. En el diagrama de la Figura 2 se pueden observar las fases y su interacción.

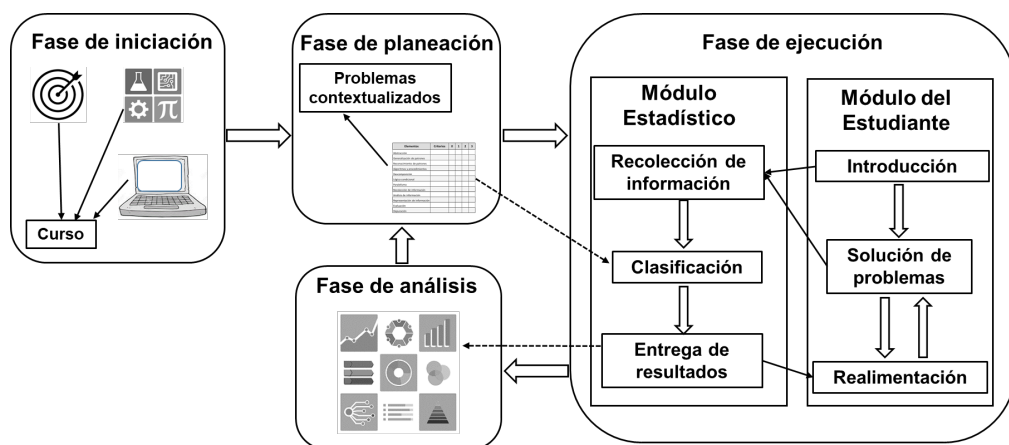


Figura 2 – Modelo de evaluación basado en evidencia.

La fase de iniciación, abarca la definición del área del conocimiento en la que se van a desarrollar los problemas, el objetivo general y los mecanismos de evaluación, las actividades de la fase de iniciación deben ser realizadas por el docente, estas incluyen: determinar las herramientas a emplear tanto para codificar como para evaluar y definir uno o varios objetivos de acuerdo al área del conocimiento y grado escolar de los estudiantes.

La fase de planeación se refiere a proyectar las actividades que se van a realizar con los estudiantes, las actividades de esta fase deben ser realizadas por el docente, estas corresponden a: definir cada problema a resolver por los estudiantes y determinar los criterios mínimos en cada uno de los problemas, para la estimación del desarrollo de CT en los estudiantes.

La fase de ejecución corresponde a la fase en la que los estudiantes generan la evidencia necesaria para el análisis de los resultados, se compone de dos módulos: estadístico y del estudiante.

El módulo estadístico se encarga del análisis automático de los elementos de CT. Toma la información entregada por el módulo del estudiante y la contrasta con los criterios establecidos por el docente en la fase de planeación. Este módulo realiza el análisis automático de los criterios y brinda una clasificación de acuerdo a los resultados y los parámetros establecidos.

El módulo del estudiante describe la participación del estudiante en el modelo propuesto, a través de las actividades que los estudiantes realizan en esta fase: primero entregan la información de inicio (datos personales, preferencias, etc.), después conocen el manejo de las herramientas a emplear para desarrollar la solución y para la evaluación, tercero inician a resolver los problemas propuestos por el docente, finalmente reciben la realimentación correspondiente a la relación entre el desempeño y los criterios establecidos por el docente.

La fase de análisis consiste en la revisión, por parte del docente, de los resultados entregados por el módulo estadístico, los docentes deben observar los resultados generales, revisar a detalle los resultados individuales de los casos identificados como los más interesantes a juicio del docente, reconocer las fallas presentadas y determinar las posibles mejoras para el siguiente paso, que puede ser la fase de planeación o la selección de una actividad diferente.

Se estableció Scratch como el entorno gráfico de desarrollo debido a su popularidad y uso extendido, para emplearlo en el modelo se realizó un mapeo de los elementos CT con relación a las posibles acciones reconocidas entre los criterios mínimos, que el estudiante puede realizar en la herramienta. La Tabla 3 muestra la correlación de los elementos y los criterios mínimos identificados.

Elemento CT	A	B	C
<i>Diseño de algoritmos</i>	Hay secuencias	No hay código muerto	No hay código duplicado
<i>Reconocimiento de patrones/Abstracción</i>	Define un bloque	Emplea clones	Define # bloques
<i>Descomposición de problemas/Abstracción</i>	2 hilos por sprite	2 sprite tiene eventos	# hilos por sprite (dos o más)
<i>Paralelismo</i>	2 hilos iniciando en bandera verde	2 programas inician con clic mouse o clic any key	2 programas inician en los otros eventos, Recepcion de mensajes
<i>Recolección de información</i>	Sensores (entrada mouse y teclado)	Uso de variables Scratch	Sensores de sprite
<i>Representación de información</i>	Creación de variables	Variables compartidas con todos los sprites	Creación de listas
<i>Análisis de información</i>	Operadores matemáticos básicos, unir palabras	Operadores no comunes, número al azar	Operadores lógicos, mayor, menor, igual operadores anidados

Elemento CT	A	B	C
<i>Razonamiento lógico</i>	Esperar, repetir, repetir por siempre, si, detener este	Esperar hasta, repetir hasta, si si no, detener todo	Bucles o condicionales anidados
<i>Depuración</i>	Encontró errores y no hizo nada	Encontró errores, revisó y preguntó	Encontró errores, revisó y los resolvió
<i>Generalización de patrones</i>	Reutilizó código encontrado en Google	Reutilizó código encontrado en Scratch	Reutilizó código de un proyecto propio

Tabla 3 – Mapeo de elementos CT con respecto al uso de los bloques de Scratch y prácticas de codificación

La mayoría de los criterios expuestos en la Tabla 3 se pueden evaluar mediante un análisis automático. La información de los estudiantes acerca de la depuración y generalización de patrones se puede recoger mediante una entrevista, observación directa o encuesta, se recomienda este último mecanismo ya que facilita el análisis automático del proyecto finalizado y otros métodos pueden tomar mucho tiempo.

3.3. Etapa 3. Herramienta de evaluación automatizada

Teniendo en cuenta el modelo de evaluación propuesto, se desarrolló el prototipo denominado HERA – CT (Herramienta de Evaluación y Realimentación para el Aprendizaje – Pensamiento Computacional), su propósito es estimar el desarrollo de CT en estudiantes y facilitar el proceso de evaluación a los docentes. La herramienta se describe en detalle en (Laura Orozco-Garcia, Carolina Gonzalez, Juan Montano, Cristian Mondragon, 2019).

4. Conclusiones y trabajos futuros

El pensamiento computacional es una habilidad esencial, por esta razón es importante que se desarrolle desde edades tempranas, para esto se requiere que los docentes tengan un conocimiento adecuado para incorporarlo en su enseñanza e incluirlo de manera transversal a diferentes áreas del conocimiento, así se fortalece la competencia y se adquiere un aprendizaje en estas áreas.

Para la evaluación del CT es necesario soportar al docente con herramientas que le permitan determinar las actividades a realizar por los estudiantes y tener un seguimiento de su progreso, además, la evaluación de los criterios mínimos debe hacerse considerando aquellos que el docente desea evaluar, ya que depende del nivel de escolaridad y la actividad específica a desarrollar.

Se requiere contar con soluciones que consideren el proceso evaluativo no limitado a la medición, que se propicien espacios de autoevaluación, realimentación y seguimiento en tiempo real, que permitan la detección temprana de dificultades en los estudiantes y que estime los elementos formativos, de acuerdo a los conocimientos, habilidades, actitudes de cada estudiante.

Se recomiendan evaluaciones continuas, ordenadas, sistemáticas e integradas a las sesiones de clase, con el fin de detectar las falencias y logros que permitan realimentación oportuna y apropiada. Teniendo en cuenta que el constante análisis de los resultados propuesto en la fase de análisis, facilita la detección temprana de dificultades y fortalezas en los estudiantes.

Como trabajo futuro se propone emplear el modelo de evaluación propuesto para estimar el desarrollo de habilidades diferentes a CT, como la creatividad o análisis crítico que también se pueden evaluar mediante la resolución de problemas.

Incluir mecanismos como “eye tracking” u observación indirecta por videograbación que permiten revisar detalladamente las prácticas de programación, lo que brinda una opción que requiere de mucho tiempo y esfuerzo pero elimina la subjetividad de la evaluación, brindando mayor validez.

Ampliar el alcance de la solución propuesta, con el fin de abarcar diferentes plataformas para el desarrollo de soluciones.

Referencias

- Álvarez Méndez, J. M. (2001). *Evaluar para aprender, examinar para excluir*. Madrid: Morata. Retrieved from [http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/01_-_Alvarez Mendez Evaluacion.pdf](http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/01_-_Alvarez_Mendez_Evaluacion.pdf)
- Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2015). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661–670. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008>
- Bennett, R. E. (2011). Formative assessment: A critical review. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 18(1), 5–25. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2010.513678>
- Bienkowski, M., Snow, E., Rutstein, D., & Grover, S. (2015). *Assessment design patterns for computational thinking practices in secondary computer science : a first look*. SRI Education. Retrieved from [http://pact.sri.com/downloads/Assessment-Design-Patterns-for-Computational Thinking-Practices-Secondary-Computer-Science.pdf](http://pact.sri.com/downloads/Assessment-Design-Patterns-for-Computational-Thinking-Practices-Secondary-Computer-Science.pdf)
- Boe, B., Hill, C., Len, M., Dreschler, G., Conrad, P., & Franklin, D. (2013). Hairball: Lint-inspired static analysis of scratch projects. *Technical Symposium on Computer Science Education*. <https://doi.org/10.1145/2445196.2445265>
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Annual American Educational Research Association meeting* (pp. 1–25). Vancouver, BC, Canada. Retrieved from http://web.media.mit.edu/~kbrennan/files/Brennan_Resnick_AERA2012_CT.pdf

- Computer Science Teachers Association (CSTA), & International Society for Technology Education (ISTE). (2011). *Operational definition of computational thinking. Report.*
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K-12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Karvounidis, T., Argyriou, I., Ladias, A., & Douligeris, C. (2017). A design and evaluation framework for visual programming codes. In *Global Engineering Education Conference*. Athens: IEEE.
- Kukul, V., & Karatas, S. (2019). Computational Thinking Self-Efficacy Scale: Development, Validity and Reliability. *Informatics in Education*, 18(1), 151–164. <https://doi.org/10.15388/infedu.2019.07>
- Laura Orozco-Garcia, Carolina Gonzalez, Juan Montano, Cristian Mondragon, H. T. (2019). A formative assessment tool to support Computational Thinking in the classroom. In *2019 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)* (pp. 1–4).
- Mislevy, R. J., Almond, R. G., & Lukas, J. F. (2003). *A brief introduction to Evidence-Centered Design. Russell The Journal Of The Bertrand Russell Archives* (Vol. RR-03-16). Princeton, NJ. <https://doi.org/10.1002/j.2333-8504.2003.tb01908.x>
- Moreno-León, J., Robles, G., & Román-González, M. (2015). Dr. Scratch: Análisis automático de proyectos scratch para evaluar y fomentar el pensamiento computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46(10), 1–23. <https://doi.org/10.6018/red/46/10>
- Ota, G., Morimoto, Y., & Kato, H. (2016). Ninja code village for scratch: Function samples/function analyser and automatic assessment of computational thinking concepts. *Proceedings of IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing, VL/HCC, November*, 238–239. <https://doi.org/10.1109/VLHCC.2016.7739695>
- Román-Gonzalez, M. (2015). Test de pensamiento computacional: Principios de diseño, validación de contenido y análisis de ítems, (September), 1–19. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/288341872%0ATest>
- Román-González, M. (2016). Computational thinking test: Design guidelines and content validation. In *EDULEARN Conference* (pp. 2436–2444). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4203.4329>
- Scriven, M. (1967). The methodology of evaluation. In R. W. Tyler, R. . Gagne, & M. Scriven (Eds.), *Perspectives of curriculum evaluation* (pp. 39–83). Chicago, IL: Rand McNally.
- Serrano, C. E. (2005). *Modelo integral para el profesional en ingeniería*. Universidad del Cauca.

- Shute, V. J., & Ke, F. (2012). Games, learning, and assessment. In *Assessment in Game-Based Learning: Foundations, Innovations, and Perspective* (pp. 43–58). New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3546-4>
- Snow, E., Tate, C., Rutstein, D., & Bienkowski, M. (2017). *Assessment design patterns for computational thinking practices in exploring computer science*. SRI Education. Menlo Park, CA. Retrieved from [http://pact.sri.com/downloads/Assessment-Design-Patterns-for-Computational Thinking-Practices-Secondary-Computer-Science.pdf](http://pact.sri.com/downloads/Assessment-Design-Patterns-for-Computational-Thinking-Practices-Secondary-Computer-Science.pdf)
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M. S., Orton, K., Trouille, L., Jona, K., ... Affect. (2014). Interactive assessment tools for computational thinking in high school stem classrooms. In D. Reidsma, I. Choi, & R. Bargar (Eds.), *6th International Conference, INTETAIN 2014 Chicago, IL, USA, July 9–11, 2014* (pp. 22–25). Chicago, IL, USA: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08189-2>
- Werner, L., Denner, J., & Campe, S. (2012). The fairy performance assessment : measuring computational thinking in middle school. *Technical Symposium on Computer Science Education*. <https://doi.org/10.1145/2157136.2157200>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Wing, J. M. (2008a). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 366(July), 3717–3725. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118>
- Wing, J. M. (2008b). Computational thinking and thinking about computing. *Ppt*. Retrieved from <http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2008.0118>
- Wing, J. M. (2010). Computational thinking: What and why? *TheLink - The Magaizne of the Varnegie Mellon University School of Computer Science*. Retrieved from <http://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>
- Wolz, U., Hallberg, C., & Taylor, B. (2011). Scrape: A tool for visualizing the code of Scratch programs. In *ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM.

Análisis de aprendizaje computacional aplicado a la contratación: Caso Instituto Colombiano de Bienestar Social

Oscar Leonardo Cely Granados¹, Octavio Salcedo Parra², Víctor Hugo Medina García³

ing.oscar.dba@gmail.com, oparra@udistrital.edu.co, vmedina@udistrital.edu.co

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia.

² Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia.

³ Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia.

Pages: 870–882

Resumen: Con el rápido crecimiento de las tecnologías de la información y el acceso a una gran cantidad de datos que generan las personas, los objetos, las empresas, entre otras entidades conectadas a internet, el análisis y procesamiento de los mismos se ha convertido en una tendencia con el fin de hallar información relevante relativa a estos. En la presente investigación se describen 2 comportamientos: por un lado, la correlación que tienen el valor total de los contratos y los cupos asignados en la contratación realizada por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) por medio de una regresión lineal; por otro lado, la aplicación del algoritmo clasificador K-Nearest Neighbor (KNN), para identificar las características que rodean a cada uno de los tipos de contratos que esta entidad estatal realiza y así mismo realizar predicciones sobre los mismos.

Palabras-clave: Minería de Datos; KNN; Regresión Lineal; Predicciones.

Analysis of computational learning applied to contracting: Case of the Colombian Institute of Social Welfare

Abstract: With the rapid growth of information technologies and access to a large amount of data generated by people, objects, companies, among other entities connected to the Internet, the analysis and processing of them has become a trend in order to find relevant information related to them. In this research 2 behaviors are described: on the one hand, the correlation of the total value of the contracts and the quotas assigned in the contracting done by the Colombian Family Welfare Institute (ICBF) by means of a linear regression; on the other hand, the application of the K-Nearest Neighbor (KNN) classifier algorithm, to identify the characteristics that surround each of the types of contracts that this state entity performs and also make predictions about them.

Keywords: Data Mining; KNN; Linear Regression.

1. Introducción

El Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), entidad del estado colombiano que trabaja por la prevención y protección integral de la primera infancia, la niñez, la adolescencia y el bienestar de las familias en Colombia, brinda atención especial a aquellos en condiciones de amenaza, inobservancia o vulneración de sus derechos. Durante el año 2017 se realizaron más de 5000 contrataciones en todo el territorio nacional, en materia de educación, alimentación y acompañamiento de menores de edad.

Basados en esta información, se considera pertinente realizar un procesamiento de estos contratos, para darle una interpretación a esta información almacenada e identificar comportamientos que se estén presentando.

Es claro que para los diferentes ejecutivos que trabajan en el sector público, es muy complicado que puedan realizar un adecuado procesamiento de estos datos. En este caso particular del ICBF, consideramos que hay un volumen de información considerable que justifica el uso del proceso de descubrimiento de conocimiento en bases de datos.

De modo que, el presente documento explica los pasos a seguir para extraer la información implícita en los datos de las contrataciones del ICBF durante el año 2017. En la primera parte, se puede encontrar la fase de selección en donde se entrega el detalle de la fuente de información y de donde se obtuvo. En segundo lugar, se puede encontrar el preprocesamiento de los datos dado que la información que tenemos como insumo de trabajo no está preparada para ser sometida por una tarea de minería de datos.

En tercer lugar, se detalla la fase de minería, además de la técnica que se va a utilizar y la argumentación teórica que la respalda. En cuarto lugar, se expone la interpretación de los patrones encontrados con las consideraciones que eso implica. Finalmente, entregamos las conclusiones pertinentes sobre el desarrollo realizado en este caso de estudio

2. Selección de las fuentes de información

La minería de datos es la práctica de buscar automáticamente en grandes cantidades de datos para descubrir patrones y tendencias que van más allá de un simple análisis. La minería de datos usa algo-ritmos matemáticos sofisticados para segmentar los datos y evaluar la probabilidad de eventos futuros. La minería de datos se conoce también como el Descubrimiento del Conocimiento en los Datos (KDD) por sus siglas en inglés (Data mining, 2018).

Aunque la metodología de minería de datos generalmente hace referencia a la recolección de datos como su primer paso, antes que nada, es importante entender ¿qué clase de datos se requieren?, ¿por qué se requieren? y ¿qué se va a hacer con ellos?

La respuesta a estas preguntas ofrece un panorama más claro sobre el tipo de datos que se están buscando y puede llegar a acotar el problema y de la misma forma las fuentes de información a consultar.

La decisión de escoger el conjunto de datos se basa en diferentes criterios: Un conjunto de datos con más de 5000 registros. Esto con el fin de tener un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba lo suficientemente grandes como para poder aplicar minería de datos.

La variedad en el tipo de datos. El conjunto de datos cuenta con varios tipos de datos tales como numéricos y categóricos lo que permite realizar diferentes tipos de análisis a la hora de la implementación.

El conjunto de datos tiene valores faltantes. A pesar de que a simple vista este criterio puede ser poco lógico, la escogencia de un conjunto de datos con valores faltantes permite aplicar procesos de selección, limpieza y transformación de datos.

Teniendo definidos los criterios de selección del conjunto de datos, el siguiente paso es empezar a recopilar diferentes fuentes de datos. Dado que los datos es el fundamento de la ciencia de minería de datos, este paso se podría considerar como uno de los más importantes dentro de la metodología.

El desarrollo de la tecnología para generación y procesamiento de datos han permitido que actualmente se cuentan con enormes cantidades de bases de datos, muchas de ellas libres, lo que quiere decir que cualquier persona las puede usar para el fin que desee. Esta gran cantidad de datos disponibles tiene ciertas ventajas y desventajas, por un lado el fácil acceso a la información permite que los procesos de recopilación de datos sean más ágiles y se desarrollan en periodos de tiempo más cortos, sin embargo, esta misma cantidad y variedad de datos hacen que a la hora de recopilar los datos se recoja información no deseada o no relacionada con el tema a tratar, ya sea porque provienen de fuentes pocos confiables o porque simplemente el conjunto de datos contiene tanta variedad de información que es difícil clasificarla en una o pocas categorías (Daedalus, 2002).

El conjunto de datos usado para el desarrollo del presente artículo es tomado de una base de datos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF, muestra los contratos realizados por la entidad en el año 2017. El conjunto de datos cuenta con 14 columnas (ID del Contrato, Aporte ICBF, Aporte Entidad Contratista, Valor Total del Contrato, Cupos del Contrato, Fecha de Inicio, Fecha de Finalización, Nombre de la Entidad Contratista, Nombre del Tipo de Organización, Servicio, Cupos del Servicio, Tipo de Servicio) y 5577 registros.

3. Preprocesamiento de los datos

El segundo paso propuesto en la metodología de minería de datos hace referencia al preprocesamiento de los datos. Luego de escogido el conjunto de datos es importante escoger un procedimiento de preprocesamiento de datos que permita adaptarlos a las necesidades de la investigación (Romero 2006).

Enfrentar el problema del preprocesamiento de datos no suele ser tarea fácil, ya que a menudo los conjuntos de datos cuentan con una gran cantidad de valores faltantes, donde la gente generalmente sigue los siguientes métodos para preprocesar los datos: ignorar el valor faltante, completar el valor faltante basado en la experiencia, usar una constante global para llenar el valor faltante o usar el valor más probable para completar el valor faltante. Por supuesto, el método más directo es simplemente ignorar el valor faltante.

Sin embargo, este método puede funcionar solo si la cantidad de valores faltantes es pequeña (generalmente menor al 10% del total de los valores) (Vallejo, 20016).

Los diferentes métodos de preprocesamiento de datos están divididos en las siguientes categorías:

3.1. Limpieza de datos

Los datos a ser analizados usando técnicas de minería de datos pueden estar incompletos (valores o atributos faltantes o contenido de solo data agregada), ruido (contienen errores o valores extraños que se desvían de la clasificación esperada), e inconsistencias (contienen discrepancias en la categorización de los elementos). Incompletas, ruidosas e inconsistentes son algunas de las propiedades comunes de las bases de datos actuales, las cuales a su vez tienen grandes cantidades de datos. Los valores incompletos pueden suceder por muchas razones. Los atributos de interés pueden no estar siempre disponibles porque simplemente dichos datos no fueron considerados importantes al momento de su generación (Rodríguez, 2010).

Para el caso de valores faltantes, existen diferentes alternativas tales como:

Ignorar el registro, completar el valor faltante manualmente, usar una constante global para completar el valor faltante, usar el promedio de la columna para completar el valor faltante (esto en el caso de los valores numéricos), usar el promedio para todos los valores pertenecientes a la misma clase para el registro dado, usar el valor más probable para completar el registro faltante (Martínez, 20017).

Para el caso de los valores con ruido, las técnicas para su tratamiento son las siguientes: Métodos de agrupación, clusterización, inspección humana y computarizada, regresión.

3.2. Integración de datos

En el caso de que los datos sean recopilados desde varias fuentes de información, se debe realizar una integración de datos para formar un conjunto de datos coherente o un almacén de datos. Estas fuentes de información pueden incluir bases de datos, cubos de datos o archivos planos. Hay muchos problemas que pueden ocurrir cuando se realiza integración de datos, por ejemplo, como se puede asegurar que el número de identificación referente a un usuario es el mismo en varias tablas. En estos casos se puede hacer uso de la metadata, ya que esta puede contener información importante acerca de los datos (Fernández, 2016).

3.3. Transformación de datos

En el proceso de transformación de datos, los datos son transformados o consolidados en formas apropiadas para ser minados. La transformación de datos puede involucrar los siguientes pasos: Normalización, suavizamiento, generalización de los datos.

3.4. Reducción de datos

Cuando se pretende realizar el análisis y el minado de grandes cantidades de datos complejos, este proceso puede tomar mucho tiempo, haciendo dicho análisis impráctico e irrealizable. Las técnicas de reducción de datos han sido útiles permitiendo el análisis

de representación reducidas del conjunto de datos sin comprometer la integridad y la calidad de los mismos (Osorio, 2009).

El concepto de reducción de datos es comúnmente entendido como la reducción ya sea del volumen o de las dimensiones de los datos. Ciertos métodos basados en la partición trabajan en la partición de registros. Algunas estrategias comunes para la reducción de datos son las siguientes: Agregación en cubos de datos, reducción de dimensiones, compresión de datos, reducción del volumen, discretización y generación de conceptos jerárquicos (Rodríguez, 2010).

Para este caso particular, en la limpieza de datos encontramos algunos valores incompletos para los aportes del ICBF, los aportes de la entidad contratista, valores totales del contrato y cupos del contrato. Decidimos completar estos valores utilizando la media de cada atributo, tomando como referencia el total de registros. Con referencia a las variables que no son numéricas, las categorizamos, asignando un número a cada valor que toma cada atributo. De esta manera, categorizamos las regionales, los nombres de los contratistas, los tipos de organización, los servicios y los tipos de servicio (Xingquan, 2007).

Sobre la reducción de datos, SE decidió aplicar una regresión lineal, debido que necesitamos determinar el mejor modelo que relacione una variable de salida con una o más variables de entrada, para predecir valores continuos (Joseph, 2010), teniendo en cuenta que el valor del contrato depende de los cupos que se ofrecen. De esta manera, tomando un set de entrenamiento del 80% y set de pruebas del 20%, observamos el comportamiento de los datos de la siguiente manera (Figura 1 y 2):

```
library(ggplot2)
ggplot() +
  geom_point(aes(x = test_set$CUPOS.DEL.CONTRATO, y = test_set$VALOR.TOTAL.DEL.CONTRATO),
    colour = 'red') +
  geom_line(aes(x = training_set$CUPOS.DEL.CONTRATO, y = predict(regressor, newdata = training_set)),
    colour = 'blue') +
  ggtitle("Valor del Contrato vs Cupos del Contrato (Test set)") +
  xlab("Cupos del Contrato") +
  ylab("Valor del Contrato")
```

Figura 1 – Código que modela la regresión lineal entre los cupos del contrato y el valor del contrato. Fuente: Los autores.

Obsérvese que aquellos contratos que tienen más de 20000 cupos, están bastante alejados del comportamiento que deberían tener. Por tal motivo, vamos a reducir nuestro set de datos a aquellos contratos que ofrecen menos de 20000 cupos de servicio.

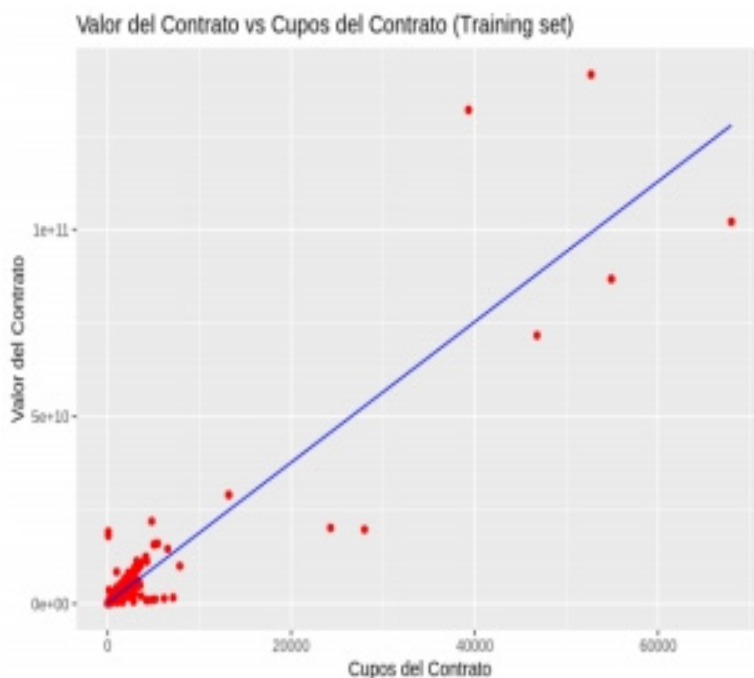


Figura 2 – Resultado de la regresión lineal entre los cupos del contrato y los valores del contrato.
Fuente: Los autores

4. Minería de datos

Dentro de las tareas de minería de datos, encontramos 2 grandes grupos: los predictivos (clasificación y regresión) y los descriptivos (agrupación, asociación y análisis de correlación) (Rodríguez, 2010).

En la clasificación, cada registro pertenece a una clase, que está asignada a un atributo categórico determinado. Esta tarea se usa principalmente para predecir una clase para aquellas instancias que no la tienen, basado en los demás atributos, los relevantes a la clase o los atributos predictivos (Zhao, 2005).

En la regresión, también se estima una clase, basado en atributos numéricos y en una función real que asigne un valor a cada instancia para poder predecir de acuerdo a este.

En el clustering, se construyen grupos maximizando la similitud entre los elementos de un grupo y maximizándola con respecto a elementos de otros grupos (Andrews, 1995).

En la asociación, se descubren relaciones de asociación o correlación en un conjunto de datos. Las asociaciones se expresan como condiciones atributo-valor y deben estar presentes en múltiples ocasiones en los datos (Lior, 2008).

Un reto que se presenta con la información de los contratos del ICBF, es determinar el tipo de servicio que ofrece un contrato (integral o tradicional). El tipo de servicio que presta un contrato es muy importante, porque si es integral ofrece 7 atenciones; mientras que el tipo de servicio tradicional ofrece los servicios básicos. Si conocemos las demás características de los contratos, podríamos determinar qué tipo de servicio puede tener un contrato. De manera que, la tarea de minería de datos que más se acopla a esta necesidad es la clasificación, ya que todos los contratos tienen un tipo de servicio. Ahora, entre los múltiples algoritmos de clasificación que existen, tomaremos el de KNN para observar e interpretar el comportamiento de los contratos.

4.1. Algoritmo KNN: Definición

KNN es un algoritmo usado frecuentemente en aplicaciones donde se pretende buscar elementos similares en un conjunto de datos. La forma en que se mide la similitud es creando un vector con la representación de los elementos y luego comparar los vectores usando una métrica de distancia adecuada. Los principales casos de uso de KNN son los sistemas de recomendación y la búsqueda de conceptos (Venkatadri, 2010).

En español conocido como el método de los k vecinos más cercanos es un método de clasificación supervisada (Aprendizaje, estimación basada en un conjunto de entrenamiento y prototipos) que sirve para estimar la función de densidad $F(x/C_j)$ de las predictoras x por cada clase C_j (Figura 3)

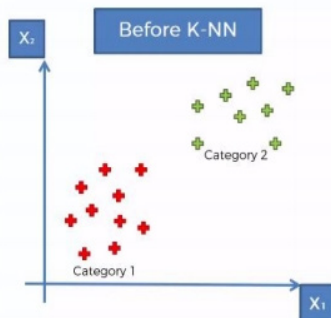


Figura 3 – Paso 1 del algoritmo KNN donde se modelan las categorías. Fuente: Los autores

El algoritmo clasifica cada dato nuevo en el grupo que corresponda, según tenga k vecinos más cerca de un grupo o de otro. Es decir, calcula la distancia del elemento nuevo a cada uno de los existentes, y ordena dichas distancias de menor a mayor para ir seleccionando el grupo al que pertenecer. Este grupo será, por tanto, el de mayor frecuencia con menores distancias (Figura 4).

En contraste con otros algoritmos de aprendizaje supervisado, KNN no genera un modelo fruto del aprendizaje con datos de entrenamiento, sino que el aprendizaje sucede en el mismo momento en el que se prueban los datos de test. A este tipo de algoritmos se les llama “lazy learning” methods (Ankita, 2012).

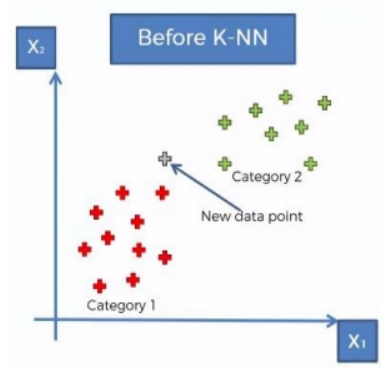


Figura 4 – Paso 2 del algoritmo KNN donde se ubica un dato con respecto a las categorías identificadas. Fuente: Los autores

Para calcular la distancia entre el dato que está siendo clasificado y el k-vecino que se está tomando como referencia se utiliza el método matemático conocido como distancia Euclidiana.

En el contexto de la geometría Euclidiana, cuando se habla de distancia Euclidiana en una dimensión, se define uno de los puntos como el origen y se traza una línea recta que una los dos puntos. La longitud de la línea creada define la distancia entre el origen y el segundo punto (Li, 2005).

Cuando se habla de más dimensiones el concepto puede parecer un poco más complicado de entender, pero su fundamento sigue siendo el mismo, la distancia Euclidiana siempre será la distancia entre un punto denominado el origen y otro punto.

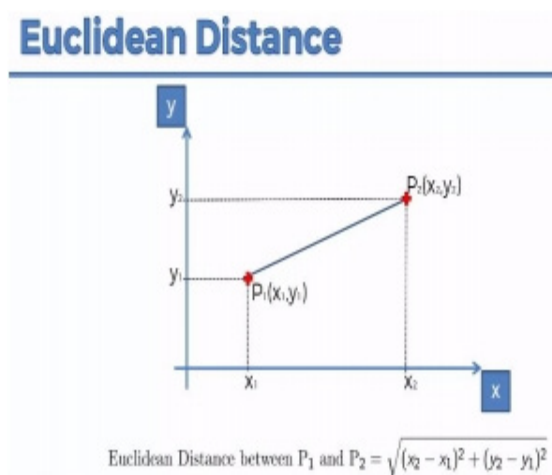


Figura 5 – Representación de la distancia Euclidiana. Fuente: Los autores
Finalmente, se asigna el dato al grupo que tiene más k- vecinos cercanos.



Figura 6 – Resultado de asociar un nuevo dato a la categoría que tiene más registros cercanos al dato que se está incorporando. Fuente: Los autores

Destacar que K-NN es muy sensible a: La variable k , de modo que con valores distintos de k podemos obtener resultados también muy distintos. Este valor suele fijarse tras un proceso de pruebas con varias instancias. La métrica de similitud utilizada, puesto que esta influirá, fuertemente, en las relaciones de cercanía que se irán estableciendo en el proceso de construcción del algoritmo. La métrica de distancia puede llegar a contener pesos que nos ayudarán a calibrar el algoritmo de clasificación, convirtiéndola, de hecho, en una métrica personalizada (Fu, 2005).

```
> cm
y_pred
0 1
0 25 20
1 17 21
```

```
COMIENZO
Entrada:  $D = \{(x_1, c_1), \dots, (x_N, c_N)\}$ 
 $x = (x_1, \dots, x_n)$  nuevo caso a clasificar
PARA todo objeto ya clasificado  $(x_i, c_i)$ 
    calcular  $d_i = d(x_i, x)$ 
Ordenar  $d_i (i = 1, \dots, N)$  en orden ascendente
Quedarnos con los  $K$  casos  $D_x^K$  ya clasificados más cercanos a  $x$ 
Asignar a  $x$  la clase más frecuente en  $D_x^K$ 
FIN
```

Figura 7 – Seudocódigo del algoritmo KNN. Fuente: Los autores

Su mayor debilidad es la lentitud en el proceso de clasificación puesto que su objetivo no es obtener un modelo optimizado, sino que cada instancia de prueba es comparada contra todo el juego de datos de entrenamiento y, será la bondad de los resultados lo que determinará el ajuste de aspectos del algoritmo como el propio valor k , el criterio de selección de instancias para formar parte del juego de datos “D” de entrenamiento o la propia métrica de medida de similitud. Finalmente, conoceremos la precisión del algoritmo a través de una evaluación de la matriz de confusión. En ella, se valorarán los verdaderos positivos, los falsos positivos, los positivos incorrectos (Servente. 1955).

4.2. Algoritmo KNN: Seudocódigo

El algoritmo KNN completo se define por el siguiente pseudocódigo (Figura 7):

4.3. Implementación

Habiendo realizado el preprocesamiento de los datos, se procede ahora a la implementación del algoritmo siguiendo los siguientes pasos:

1. Se crea un conjunto de entrenamiento con el 80% de los datos y un conjunto de pruebas con el 20% restante.
2. Se configura la matriz de confusión para determinar la calidad de los resultados y los parámetros del algoritmo, con un valor de $k=5$ y la clase es el tipo de servicio (integral o tradicional).
3. Se aplica el algoritmo KNN para realizar predicciones sobre el “Valor del Contrato” con respecto a los “Cupos del contrato” tanto con el set de entrenamiento como con el set de pruebas.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

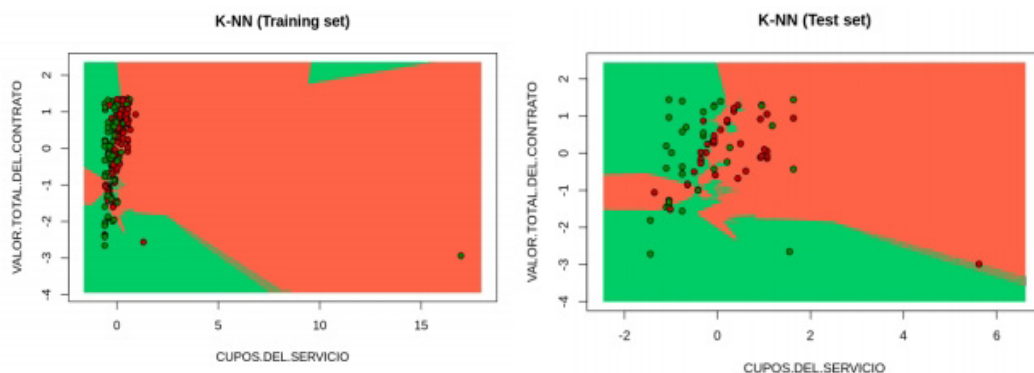


Figura 8 – Resultados del algoritmo KNN en R (a) y (b). Fuente: Los autores

	Model	Score
3	Random Forest	86.76
8	Decision Tree	86.76
1	KNN	84.74
0	Support Vector Machines	83.84
2	Logistic Regression	80.36
7	Linear SVC	79.12
5	Perceptron	78.00
6	Stochastic Gradient Decent	77.67
4	Naive Bayes	72.28

Figura 9 – Matriz de confusión obtenida con R. Fuente: Los autores

5. Interpretación de resultados

En esta fase evaluamos los resultados obtenidos de la aplicación algoritmo KNN al grupo de datos seleccionado.

Lo primero, es resaltar la calidad obtenida a partir de la matriz de confusión, en donde se observa que solo hay 37 datos que no coinciden con la clasificación deseada.

En los resultados de entrenamiento, observamos que por la cantidad de registros que tenemos en nuestro set de entrenamiento la mayoría de datos se ubican en la frontera de los tipos de servicio. Sin embargo, con el resultado obtenido del entrenamiento del set de prueba, dado que tenemos el 20% de datos del set original, se ve una mejor distribución de la información. Podemos ver que la sección que está en rojo (contratos de tipo integral) abarcan una mayor región cuando el cupo del servicio y el valor del contrato son elevados.

Si se toma en cuenta los resultados del set de prueba, con los resultados del set de entrenamiento de la regresión lineal, podríamos deducir que aquellos contratos que tienen más de 20000 cupos de servicio pertenecen al tipo de servicio integral. Es razonable pensar, que detrás de este tipo de contrato puede existir alguna irregularidad, porque precisamente desde los 20000 cupos de servicio los valores se alejan sobre la tendencia esperada.

Finalmente, se decidió comparar los puntos de confianza que tiene la utilización del algoritmo KNN frente a otros algoritmos resaltados en la tabla posterior simple y texto pendiente de 0,7 cm. Véase los ejemplos mostrados a continuación:

Obsérvese que KNN tiene 84 puntos de confianza. Si bien es cercano a los puntos de confianza que genera un árbol de decisión, el random forest ofrece una mejor precisión y vale la pena realizar otro desarrollo donde se analicen los resultados arrojado por aplicar este algoritmo al set de contrataciones, y corroborar o refutar con un elevado puntaje de confianza los resultados aquí obtenidos por la implementación del algoritmo KNN.

6. Conclusiones

En general, tanto la regresión lineal como knn los utilizamos como algoritmos de aprendizaje para hacer machine learning y no para preparación de datos porque en preparación de datos utilizamos la media y los scripts en R para categorizar las variables.

A pesar de que KNN es un algoritmo con una tasa de predicción alta su consumo computacional es alto, dado que tiene que comparar cada uno de los elementos del conjunto de pruebas con cada uno de los elementos del conjunto de entrenamiento. Para el desarrollo de este artículo su aplicación es justificable dado que se cuenta con un conjunto de datos relativamente pequeño. Habría que evaluar si para conjunto de datos más grandes KNN sigue siendo la mejor alternativa.

KNN es un algoritmo que se puede usar en varias etapas de la metodología de la minería de datos, ya que permite reemplazar valores faltantes y hacer predicciones sobre el conjunto de datos.

Para el conjunto de datos analizado, se puede inferir que, a partir de los 20000 cupos de servicio, el valor para este tipo de contratos se aleja de la tendencia por lo que podría inferirse cierto tipo de irregularidad en los mismos

Referencias

- Andrews R., Diederich, J. Tickle A. B., "A survey and critique of techniques for extracting rules from trained artificial neural networks", Knowledge-Based Systems, vol.-8, no.-6, pp.-378-389, 1995.
- Ankita Agarwal, "Secret Key Encryption algorithm using genetic algorithm", vol.-2, no.-4, ISSN: 2277 128X, IJARCSSE, pp. 57-61, April 2012.
- Daedalus, Data, Decisions and Language, S.A. Minería de datos. Documento básico Daedalus. Primera edición. Madrid: Daedalus – Data, Decisions and Language, S.A. 2002, pp. 9-13.
- Fernandez D.X. Data mining e investigación de mercados en el contexto de crm: la evolución en el conocimiento del cliente [tesis de Maestría]. Barcelona: Universidad de Barcelona. 2006.
- Fu Xiuju and Lipo Wang "Rule Extraction from an RBF Classifier Based on Class-Dependent Features", ISSN'05 Proceedings of the Second international conference on Advances in Neural Networks, vol.-1, pp.- 682-687, 2005.
- Joseph, Zernik, "Data Mining as a Civic Duty – Online Public Prisoners Registration Systems", International Journal on Social Media: Monitoring, Measurement, Mining, vol. - 1, no.-1, pp. 84-96, September 2010.
- Li Lin, Longbing Cao, Jiaqi Wang, Chengqi Zhang, "The Applications of Genetic Algorithms in Stock Market Data Mining Optimisation", Proceedings of Fifth International Conference on Data Mining, Text Mining and their Business Applications, pp- 593-604, sept 2005.

- Lior Rokach and Oded Maimon, "Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence)", ISBN: 981-2771-719, World Scientific Publishing Company, , 2008.
- MarcanoAular Y.J. y R.TalaveraPereira. Minería de datos como soporte a la toma de decisiones empresariales [tesis de Maestría]. Estado de Zulia: Universidad de Zulia. 2007, pp. 9-15.
- Martínez C.A.. Un vistazo a la minería de datos. Monterrey: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Puebla. 2007, pp. 1-3.
- Osorio E.J.. La inteligencia de negocios basada en el proceso unificado [tesis de Maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2009, pp. 12-18.
- Romero, C. Ventura, S. Hervás. C. Estado actual de la aplicación de la minería de datos a los sistemas de enseñanza basada en web. Actas del iii Taller Nacional de Minería de Datos y Aprendizaje, TAMIDA2005. Córdoba, España: Thompson. 2006, pp. 49-56. S.J. Vallejo. Minería de datos. Corrientes, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste. Tesis de Maestría. 2006, pp. 14-26.
- Rodríguez Rodríguez, Jorge Enrique. Fundamentos de minería de datos. Bogotá, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2010.
- Servente M.. Algoritmos tdtid aplicados a la minería de datos inteligente [tesis de Maestría]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería. 2002, pp. 14-26. G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references).
- Venkatadri.M and Lokanatha C. Reddy , "A comparative study on decision tree classification algorithm in data mining" , International Journal Of Computer Applications In Engineering ,Technology And Sciences (IJCAETS), Vol.- 2,no.- 2 , pp. 24- 29 , Sept 2010.
- What is Data Mining?: https://docs.oracle.com/cd/B28359_01/datamine.111/b28129/process.htm#CHDFGCIJ (Last accessed date: Diciembre, 2018)
- Xingquan Zhu, Ian Davidson, "Knowledge Discovery and Data Mining: Challenges and Realities", ISBN 978- 1-59904-252, Hershey, New York, 2007.
- Zhao, Kaidi and Liu, Bing, Tirpark, Thomas M. and Weimin, Xiao, "A Visual Data Mining Framework for Convenient Identification of Useful Knowledge", ICDM '05 Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining, vol.-1, no.-1, pp.- 530- 537, Dec 2005.

Hacia el desarrollo de un modelo para un simulador social computacional como estrategia de apoyo y prevención de las adicciones en Tijuana, BC. México.

Dra. Nora Osuna-Millán¹, Dr. Felipe Lara-Rosano², Dr. Juan Meza-Fregoso³, Dr. Ricardo Rosales⁴.

nora.osuna@uabc.edu.mx, flararosano@gmail.com, juanmezaf@uabc.edu.mx, ricardorosales@uabc.edu.mx,

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, 22457, Tijuana Baja California, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito, Mario de La Cueva 20, Insurgentes Cuicuilco, Coyoacán, código postal, Ciudad de México, CDMX, México.

³ Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, 22457, Tijuana Baja California, México.

⁴ Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, 22457, Tijuana Baja California, México.

Pages: 883–893

Resumen: Este trabajo se basa en la recopilación de la información generada en la creación del simulador. Donde este es una propuesta que será utilizada como una herramienta útil para la detección temprana de diversas variantes, factores o elementos que Psicólogos, Psiquiatras o Sociólogos consideran críticos; estos hacen referencia a la prevención y detección de adicciones en diversas etapas de la vida. Este software simulara múltiples eventos y estados que en el presente y en el futuro deseado pueden determinar una tendencia de riesgo hacia las adicciones y en base al resultado detectado, el experto puede realizar la intervención que deberá aplicar medidas correctivas-preventivas, adecuadas y ajustadas, este modelo está orientado hacia un simulador dinámico, multiagente, complejo no lineal, donde los aspectos Biológicos, Psicológico, Social, son plasmados en un modelo computacional con intención de generar un Software que permita un simulador eficiente, eficaz y competitivo en el área estudiada.

Palabras-clave: Gestión del conocimiento; Simulador Social; Adicciones; Modelado; Complejidad.

Towards the development of a model for a computational social simulator as a support strategy for the prevention and prediction of addictions in Tijuana, BC. Mexico.

Abstract: This work is based on the collection of the information generated in the creation of the simulator. Where this is a proposal that will be used as a useful tool

for the early detection of various variants, factors or elements that Psychologists, Psychiatrists or Sociologists consider critical; These refer to the prevention and detection of addictions at various stages of life. This software will simulate multiple events and states that in the present and in the desired future can determine a risk trend towards addictions and based on the result detected, the expert can perform the intervention that must apply corrective-preventive measures, adequate and adjusted, This model is oriented towards a dynamic, multi-agent, non-linear complex simulator, where the Biological, Psychological, Social aspects are embodied in a computational model with the intention of generating a Software that allows an efficient, effective and competitive simulator in the studied area.

Keywords: Knowledge Management, Social Simulator, Addictions, Modeling, Complexity.

1. Introducción

El desarrollo de una herramienta útil para expertos del área de la Psicología, Psiquiatría y/o Sociología, donde mediante una interfaz el experto puede descargar datos, por medio de una evaluación previa realizada a sus pacientes o población en riesgo, en este caso la muestra objetivo son adolescentes y se podrá visualizar gráficamente la tendencia de riesgo que presentan actualmente y en base a los datos obtenidos en un contexto específico se podrán ajustar las medidas preventivas y correctivas de la intervención requerida para que en un futuro planeado por el experto, se mitigue o reduzca los factores de riesgo, y se fortalezcan los de protección; así también dar seguimiento en cada sesión y ver un historial en el cual puede realizar una interpretación basándose en los cambios de las gráficas obtenidas.

Para ello fue necesario:

1. Investigar y determinar factores de riesgo y protectores que favorecen o previenen condiciones para desarrollar una adicción a sustancias químicas en la adolescencia,
2. Realizar modelado en STELLA (Tilidetzke, B. 2019) software de las variables encontradas,
3. Desarrollar una interfaz gráfica que sea capaz de recibir datos y mostrar el comportamiento visualmente, lo cual se encuentra en proceso.

1.1. Problema y Justificación

Las adicciones son un problema social local, regional, nacional e internacional, donde es mejor implementar estrategias de prevención y apoyo a los grupos vulnerables y de riesgo, la detección de factores de riesgo y de protección presentan un panorama que nos permite emitir un tratamiento adecuado que permita implementar las intervenciones necesarias y fortalecer los factores protectores y minimizar-reducir los Factores de riesgo, todo ello enfocado a evitar la ejecución de acciones cuando el problema ya es grave, que resulta un proceso costoso para la sociedad, familia e instituciones públicas.

Debido a los patrones y resultados observados en los estudios realizados por el OEA, existe una problemática compleja, por tal motivo con apoyo de tecnologías de información (TI) se desarrollará un Simulador Social. La simulación social es adecuada para el análisis de los fenómenos sociales que son inherentemente complejos; si bien la

idea de la simulación ha tenido enorme influencia en la mayoría de las áreas de la ciencia, incluso en la programación de juegos, donde ya hay una emulación de las sociedades teniendo un impacto significativo en las ciencias sociales; Este avance se produjo cuando se dieron cuenta de que los programas computacionales ofrecen la posibilidad de crear artificialmente sociedades en las que las personas y actores colectivos, pueden ser organizaciones representadas directamente y observar el efecto de sus interacciones. Esto proporciona la posibilidad de utilizar métodos experimentales con los fenómenos sociales, y la utilización de código de computadora como una manera de formalizar las teorías dinámicas sociales (Lara-Rosano, F., 2017), (Lara-Rosano, F., Gallardo, A., & Almanza, S., 2017).

1.2. Objetivo General.

Desarrollar un simulador social computacional para la predicción de factores de riesgo y de protección, en relación con la aparición de problemas de consumo de sustancias, en una población de adolescentes de tercero de secundaria del distrito X, de la ciudad de Tijuana.

1.3. Objetivos Específicos

- Identificar factores de riesgo prevalecientes en la población estudiada.
- Identificar factores protectores existentes en la población definida.
- Determinar la correlación existente entre los factores de riesgo y factores protectores con el consumo de sustancia.
- Establecer el patrón de combinación de factores de riesgo y factores protectores y la aparición de problemas de consumo de sustancias.
- Clasificar en relación con la presencia del consumo de sustancias a la población estudiada en grupos de riesgo.
- Generar una herramienta computacional que clasifique a la población en grupos de riesgo.
- Elaborar un estudio sobre el estado del arte relacionado con los factores de riesgo, factores protectores, problemas de las adicciones y elementos relacionados.
- Elaborar el modelado computacional para determinar factores asociados al consumo de sustancias psicoactivas.
- Construir un simulador que implemente los procesos de adicción.

2. Marco Teórico

En el periodo del 2004 al 2012 el observatorio Estatal de Adicciones (OEA) a través de estudios realizados, observa el siguiente patrón de comportamiento en la población en Baja California la prevalencia de consumo de sustancias psicoactivas: en 2004 hubo una prevalencia a nivel estatal de 25.90%, 2005 de 33.60%, 2006 con 50.8%, en 2007 se encontró 47.21%, en el año 2008 se obtuvo 36.27%, 2009 36.67% mientras que en 2010 41.42%, disminuyó en 2011 a 39.44%, en el año 2006 se encontró el índice más alto de prevalencia, lo cual indica un periodo de disminución del consumo hacia los años más recientes.

Los estudios desarrollados por la OEA reflejan el rango de edad cronológica en la que iniciaron a consumir drogas va desde los 6 hasta los 48 años, siendo entre los 8 y los 18 años de edad el mayor porcentaje de individuos que iniciaron a consumir sustancias, siendo un 78.2% de los encuestados. La media de edad de inicio de consumo de los encuestados es de 14.8 años. En cuanto a la droga con la que iniciaron el consumo de sustancias psicoactivas, el alcohol se encuentra en primer lugar con un 45.8%, seguido de tabaco con 17.2%, marihuana con 14.3%, sedantes, inhalables y metanfetamina con 1.5% respectivamente, opiáceos 1.0%, y éxtasis, cocaína y alucinógenos con 0.5%, respectivamente; el porcentaje restante refieren que su inicio en el consumo se dio con algunas combinaciones, donde se encontró que el 3.9% para alcohol y tabaco, 1.0% alcohol y marihuana, y 0.5% para tabaco, metanfetamina, inhalables y cocaína, 0.5% marihuana y opiáceos, 0.5% inhalables, marihuana y otras drogas médicas, marihuana y alcohol 0.5%, y 8.9% no contestó (OEA 2016).

Es importante que un país con alto índice de consumo, producción y disposición de sustancias psicoactivas, tenga bien definidas estrategias para la detección, prevención y atención, de adicciones. Para esto se requiere de una cultura educada, comprensiva y que apoye firmemente a investigaciones científicas con propósitos preventivos (OEA 2016).

Según la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (United Nations Office on Drugs and Crime- UNODC por sus siglas en inglés) la prevención de la iniciación en el consumo de sustancias psicoactivas y de la aparición de trastornos por consumo, solo puede tener éxito si los factores de protección se refuerzan y los de riesgo se atenúan o se prevén (UNODC 2019).

Entre la documentación y referencias estudiadas se detectan algunas causas que pueden estimular las condiciones para desarrollar la adicción a sustancias psicoactivas.

Según la UNODC, basada en diversas investigaciones, se ha llegado a la conclusión de que la curiosidad es una de las principales causas que originan las conductas de drogadicción. Algunas experiencias traumáticas, Aunque no todas las personas que han experimentado una vivencia traumática o con un alto contenido emocional desarrollen conductas o hábitos de drogadicción, muchas otras encuentran consumiendo o en riesgo de consumir sustancias psicoactivas como una vía de escape que les ayude a minimizar ciertas situaciones complicadas (UNODC 2019).

Una condición de estrés, está estrechamente relacionado con el anterior. Aquellas personas cuyo ritmo de vida conlleva una gran presión o estrés, bien a nivel laboral, familiar o social, pueden llegar a encontrar en las drogas una manera de relajarse y aliviar esta tensión, aunque sea por unos momentos (SOTO 2018).

La Influencia del contexto familiar por medio de varios estudios se determina que la convivencia en un entorno familiar inestable, o el ser hijo de padres drogadictos o los trastornos mentales en padres son factores que facilitan el consumo de drogas en los más jóvenes según UNODC (2019).

En un entorno familiar en el que el consumo de drogas es algo habitual e incluso está normalizado, es común que los hijos desarrollen algún tipo de adicción y que los padres, por su condición de consumidores, no condenen estas conductas.

La Presión o influencias del círculo de amistades es una de las causas más frecuentes de la drogadicción en adolescentes lo anterior determinado por la presión que reciben de su grupo de amistades para iniciar el consumo según la Office of National Drug Control Policy. (2019).

Las propiedades de ciertas sustancias psicoactivas facilitan que la persona se sienta desinhibida y segura. Por lo tanto, aquellas personas de carácter introvertido o con escasas habilidades sociales tienen más posibilidades de consumir alguna sustancia en los momentos en los que se tenga que enfrentar a la interacción social (National Institute on Drug Abuse NIDA. 2003).

Existen ciertos trastornos y enfermedades mentales cuya sintomatología puede instigar a la persona a consumir algún tipo de droga. Bien para aliviar el dolor o bien para aliviar el malestar psicológico.

Los trastornos que más frecuentemente se asocian al consumo de drogas son: depresión, ansiedad, trastornos psicóticos: esquizofrenia y trastorno bipolar, trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

A pesar de que no pueda considerarse una causa directa de adicciones a sustancias psicoactivas, existe un extenso debate entre las investigaciones que defienden la existencia de una predisposición genética a la drogadicción y aquellas otras que insisten en que esta asociación se debe realmente al aprendizaje de acuerdo a lo descrito por la Office of National Drug Control Policy. (2019).

Según estudios de la UNODC los consumos de drogas en la población general muestran el riesgo de iniciación al consumo de drogas es acusado en el periodo de la adolescencia temprana de 12 y 14 años [2]. otros estudios revelan que esta iniciación es mucho más temprana lo que hace encender alarmas en muchas instituciones que tratan con estos problemas sociales y hacen que se pongan a trabajar en proponer soluciones para prevenir estos casos (González Reyes, P. J. 2009).

De acuerdo con la UNODC (2019) la iniciación al consumo perjudicial de sustancias se ve influenciado por factores que a menudo se escapan del control de familia y de personas que influyen en la protección del infante directa o indirectamente

Los factores de protección propuestos por esta organización son los siguientes: Implicación y supervisión de los cuidadores, salud y desarrollo neurológico en los cuales se requiere fortalecer aptitudes para afrontar situaciones difíciles y la regulación emocional, otro factor de protección es la seguridad física e inclusión social, los vecindarios seguros, por último, un entorno escolar de calidad. Estos factores de protección deben estar sujetos a la promoción de la salud física social y mental de los infantes (UNODC 2019).

Los factores de riesgo más latentes en los infantes son los traumas y adversidades que experimentan en esa etapa de la vida, como abusos o desatención, otros factores van relacionados con problemas de salud mental y estado socioeconómico, la disponibilidad de las drogas, el ambiente negativo de en la escuela y la búsqueda de sensaciones fuertes (UNODC 2019).

Un simulador nos permite generar información en diversos escenarios y para poder entender o llegar a un sistema que se necesite por medio de la simulación se tiene que

realizar experimentos en un modelo determinado, cada modelo realizado tiene que incluir los elementos necesarios según lo que se requirieron especificados, así también los objetivos que se desean. La simulación se refiere en este caso a la experimentación, así como estimación de parámetros, sensibilidad, análisis etc., (Uhrmacher A.M. et al. 2008)

La complejidad es un conjunto de elementos que se relacionan entre sí de tal forma que no se puede apreciar el comportamiento de cada uno de ellos, esto quiere decir que cada elemento afecta a otro elemento de una u otra manera, de tal forma que todos se necesitan entre sí (Lara-Rosano, F., Gallardo, A., & Almanza, S., (2017), (Lara-Rosano, F.. 2017)

Los agentes inteligentes cada día obtienen más importancia y entienden muchas de las actividades que se presentan, estos se basan en la inteligencia que tiene el ser humano en la sociedad y solo tienen interacción con el mundo humano esto quiere decir que no se agrupan entre ellos como otros seres vivos a diferencia de los sistemas multiagentes que usan modelos diferentes a el de los animales que se agrupan entre si y se concentran más en la ingeniería y optimización del software (Dautenhahn, K., Bond A., Cañamero L., & Edmonds B. 2002).

Podemos decir que los agentes inteligentes confían en su propio conocimiento para realizar ciertas operaciones, ya sea para satisfacer la necesidad de uno o varios usuarios o porque se programó (Jeffrey Tweedale, Lakhmi Jain . 2009).

La gestión del conocimiento como una herramienta que permite generar un esquema de control en la producción del conocimiento, el cual es necesario transmitir a diversas áreas, actores e instituciones (Dneprovskaya, N.V., Komleva, N.V., Urintsov, A.I. . 2018).

3. Metodología

La estrategia metodológica propuesta permite el desarrollo del trabajo a través de un acercamiento al entorno del actor principal, lo anterior generará un escenario de realidad que se produce en y, por lo tanto, mostrará de manera eficiente las habilidades, el comportamiento, el desempeño, los intereses, Competencias y objetivos de las mismas, así como el simulador.

La interacción de los principales grupos de interés, así como la comunicación en todo momento con el cliente es esencial para obtener la información requerida para el desarrollo del modelo.

El trabajo se llevará a cabo en 5 etapas: inicio, planificación, ejecución, liberación y retrospectiva, cada uno de ellos se presenta a continuación.

1. La etapa de inicio incluye la definición de las condiciones en las que se genera el proyecto, los problemas a resolver, los recursos involucrados, la identificación y la determinación de: los principales grupos de interés, los riesgos, el alcance, los costos, el tiempo, las restricciones, los criterios de aceptación y equipamiento, la definición a alto nivel del caso de negocio del proyecto.
2. Posteriormente, inicia la fase de planeación, que incluye la creación de la lista de funcionalidades del producto generado por el proyecto y como serán distribuidos

en base a prioridades establecidas por el cliente y aceptadas por el equipo de desarrollo, los sprints (ciclos de desarrollo de una funcionalidad), se estima y se establece el tiempo involucrado a un bajo nivel o más específico de acuerdo a los recursos humanos involucrados y comprometidos en la elaboración de la funcionalidad o incremento del producto.

3. En la etapa de Ejecución se desarrollarán las actividades destinadas a crear los entregables, funcionalidades o incrementos del producto de este proyecto, se tienen reuniones de planeación, de revisión de avances y/o atrasos o problemas relacionados, se realiza la funcionalidad y se revisa y valida el resultado, aquí se desarrolla el modelado para el Simulador social computacional orientado a la predicción y prevención de adicciones.
4. Entrega y retrospectiva Una vez que se completa el alcance del trabajo, el producto se entrega al cliente y sobre los resultados se debe realizar una retrospectiva que permita visualizar las actividades desarrolladas correctamente para que puedan ser replicadas en proyectos o tareas posteriores y las tareas realizadas incorrectamente para que no se repitan.

La unión de dos metodologías de administración de proyectos permiten la ejecución y documentación eficiente de un trabajo formal, tomando lo mejor de ellas para obtener un trabajo eficaz, con un mejor nivel de productividad y que redunde en una mayor competitividad de los resultados obtenidos (Project Management Institute, Inc.. 2013), (Vmedu, Inc.. 2016).

4. Modelo y Resultados

Combinando múltiples metodologías de proyectos de prevención y tomando el apoyo directo de expertos en el tema realizaremos un proyecto que contemplará en gran medida un estándar de variables que son críticas y que en la mayoría de los proyectos son contempladas como prioritarias a tener en cuenta al realizar un proceso de detección oportuna y corrección de patrones anormales.

Con apoyo en la herramienta STELLA ARCHITECT (Tilidetzke, 2019), que es una herramienta de modelado para crear simulaciones y presentaciones profesionales. Con este software se pueden crear diagramas de sistemas que se pueden simular a lo largo del tiempo. Al crear estos diagramas se podrá comprender mejor el comportamiento del sistema e identificar áreas de mejora (SoftwareShop 2019) Ver figura 2.1, 2.2 y 2.3.

El modelo completo del simulador está formado por la parte Biológica, Psicológica y Social, cada uno de estos entornos se investigó, analizo y se plasmo en el diseño del simulador.

A continuación se mencionan algunas de las actividades realizadas:

Se creó un modelado de red conceptual en el software CMAP TOOLS (EducAr. 2012). con fines de agilizar la visualización de las variables de riesgo, se dio inicio con el entorno social, se continuo con una reunión vía hangouts con expertos psicólogos y psiquiatras donde se les mostró el modelo que mostraba prácticamente la crianza parental dentro del entorno social, se realizaron observaciones a corregir y se anexaron variables.

Se realizó un depurado de la reunión con los psicólogos con el fin de eliminar variables innecesarias (que se habían establecido por el equipo de desarrollo del simulador, basados en la investigación documental realizada y criterios propios del equipo) y adjuntar otras, estas variables son pertenecientes al entorno social dentro del entorno familiar y que están dentro de la crianza parental, los niveles de las variables reconocidas fueron, los niveles de afecto, nivel de apoyo, nivel de comunicación, sentido de pertenencia, nivel de reglas y nivel de exigencia. Ver figura 1

Se realizaron diversas reuniones para el establecimiento de las variables a considerar en el modelado, relacionadas con el entorno social pero enfocadas en el ámbito escolar y el ámbito social que es ajeno a la familia, se determinaron las siguientes variables, dentro del ámbito escolar se consideró el nivel académico, el estado escolar, sentido de pertenencia y la relación con autoridades. Dentro del ámbito social ajeno a la familia se determinaron las siguientes variables, ambiente laboral, georreferencia, ambiente de amistades.

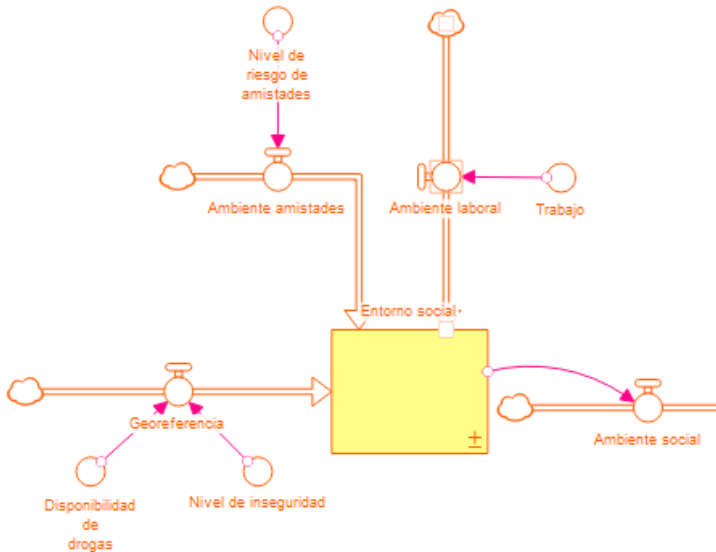


Figura 1 – Entorno Social: Stock, Flujos y convertidores

Se realizó una reunión con el grupo de expertos para el establecimiento de las variables en el modelado del entorno biológico del cual se consideraron las variables del sistema de alerta, sistema de recompensa, corteza prefrontal, así también para el establecimiento de las variables en el modelado del entorno psicológico del cual se consideraron las variables cognitivo, afectivo ver figura 2.

Después del modelado conceptual del simulador se procedió al desarrollo de la interfaz del modelado en STELLA (Tilidetzke, 2019), colocando gráficas y perillas para la

visualización y manipulación de las variables a evaluar el comportamiento. Se realizó una interfaz por cada entorno y una interfaz que une todo estos.

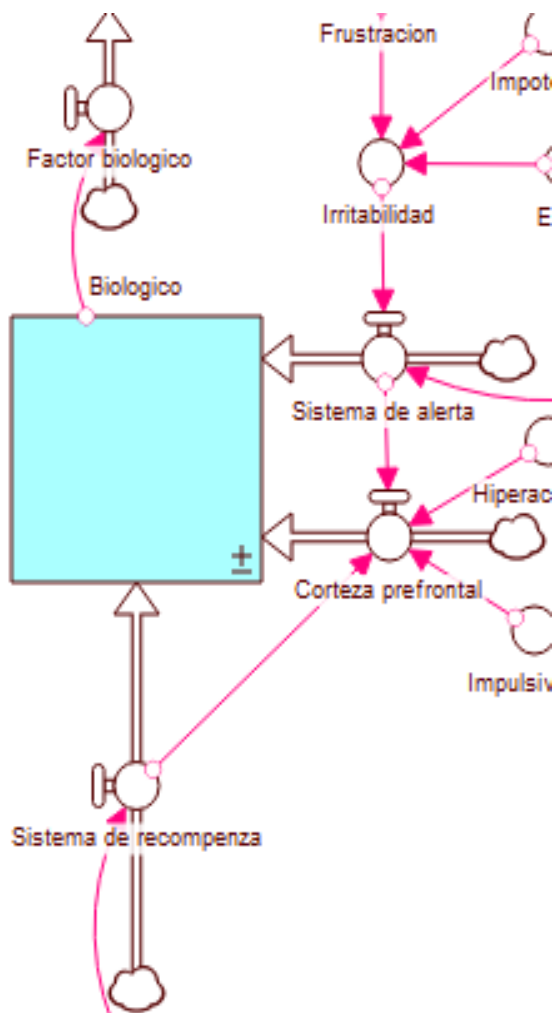


Figura 2 – Stock Biológico, flujos y convertidores

Como resultado del proyecto se obtuvo el modelado complejo del sistema en Stella, donde se emplean entradas, procesos y salidas, así como flujos, stocks y fórmulas matemáticas para calcular la interrelación de factores que influyen en que una persona desarrolle una adicción a sustancias psicoactivas. En el modelo se introducen los factores de índole biológica, psicológica y social de una persona a través de una interfaz gráfica para obtener el riesgo de desarrollar este trastorno, ver figura 3.

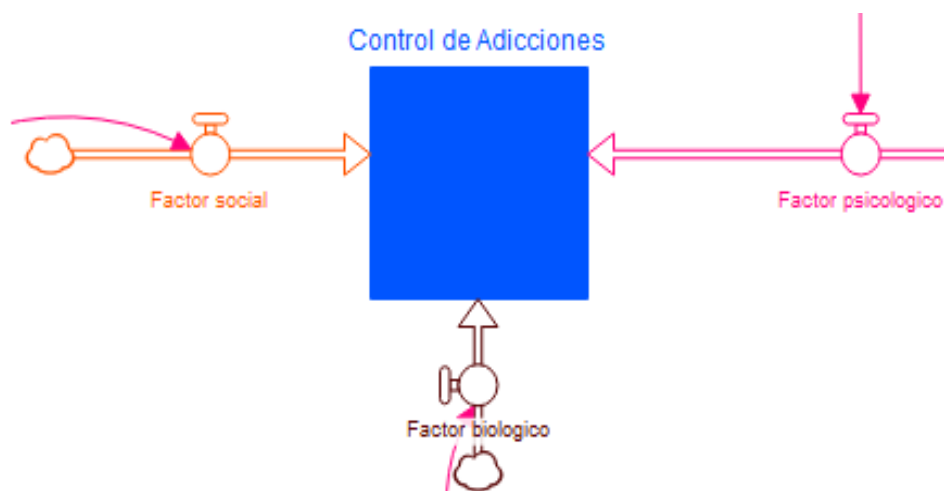


Figura 3 – Simulador Control de adicciones.

5. Conclusiones

Se obtuvo un modelo para el control de adicciones basado en factores biológicos, psicológicos y sociales; los cuales pueden influir en las intervenciones o estrategias particulares que una persona en riesgo de padecer adicción a alguna sustancia psicoactiva requiere para modificar el entorno de riesgo a un entorno protector. Este puede ser empleado por profesionales de la salud. Los índices de consumo de drogas o sustancias psicoactivas en el país se han incrementado en los últimos años, es ahí donde reside la importancia del desarrollo de una herramienta que simule diversos escenarios que apoyen a los especialistas en el tema a dirigir las estrategias necesarias para minimizar las condiciones de peligro.

El simulador requerirá revisión y adaptación a otros entornos y actores donde el peso que recibirán las variables cambiara de acuerdo a condiciones difusas, pero su mismo dinamismo, permitirá que se adecue sin problema alguno, ello puede contribuir no solo a la revisión de condiciones relacionadas con la adicción a sustancia psicoactivas, sino también a otras áreas de la salud que se pueden apoyar en el país.

Referencias

- EducAr. (2012). Cmap Tools. junio 5 2018, de EducAr Sitio web: <https://www.educ.ar/recursos/70314/cmap-tools>
- Dautenhahn, K., Bond A., Cañamero I., & Edmonds B. (2002). SOCIALLY INTELLIGENT AGENTS Creating Relationships with Computers and Robots. febrero 8 2019, de Springer Sitio web: https://libcon.rec.uabc.mx:4476/content/pdf/10.1007%2Fo-306-47373-9_1.pdf
- Jeffrey Tweedale, Lakhmi Jain . (2009). Intelligent Agents in the Evolution of Web and Applications. En Studies in Computational Intelligence(1-10). Berlin Heidelberg: Springer Book Series.

- Lara-Rosano, F.. (2017). Aplicaciones de las ciencias de la complejidad e intervención en problemas sociales. Ciudad de México: Colofón Ediciones Académicas.
- Lara-Rosano, F., Gallardo, A., & Almanza, S.,. (2017). Teorías Métodos y Modelos para la Complejidad Social. Ciudad de México: Colofón Ediciones Académicas.
- Dneprovskaya, N.V., Komleva, N.V., Urintsov, A.I. . (octubre 8 2018). The Knowledge Management Approach to Digitalization of Smart Education. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 902, 641-650.
- González Reyes, P. J. (2009). La adicción a las drogas ilegales en el estado de Baja California : integración o rechazo social? Mexicali, Baja California : Universidad Autónoma de Baja California, 2009. Retrieved from <http://libcon.rec.ua-bc.mx:2051/login.aspx?direct=true&db=cato5865a&AN=cim.160404&lang=es&site=eds-live>
- National Institute on Drug Abuse NIDA. (2003). Risk Factors and Protective Factors. En Preventing Drug Use, among Children and Adolescents; A Research-Base Guide for Parents, Educators and Community Leaders(49). U.S. of America: U.S. Government.
- OEA. (2016). revisión de la situación epidemiológica Internacional por tipo de droga. En IPEBC Observatorio Estatal de las Adicciones 2016(20-51). Baja California México: Gobierno BC.
- Office of National Drug Control Policy. (2019). National Drug Control Strategy. mayo 17 2019, de Executive office of the President of the United States Sitio web: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2019/01/NDCS-Final.pdf>
- Project Management Institute, Inc.. (2013). Project Mangement Body of Knowledge. Newtown Square Pensilvania, 19073-3299 EEUU: PMI publications.
- SoftwareShop. (2019). Stella Architect. 15 enero 2019, de SoftwareShop Sitio web: <https://www.software-shop.com/producto/stella-architect>
- Soto, A., & de Miguel, N., & Pérez Díaz, V. (2018). Abordaje de adicciones a nuevas tecnologías: una propuesta de prevención en contexto escolar y tratamiento de rehabilitación. *Papeles del Psicólogo*, 39 (2), 120-126.
- Tilidetzke, B. (2019). Modeling and Simulation using Stella. Abril 17 2018, de Archives.math.utk.edu Sitio web: <http://archives.math.utk.edu/ICTCM/VOL13/Co37/paper.pdf>
- UNODC. (2019). International Standars on Drug use prevention. enero 18 2019, de United NODC Sitio web: https://www.unodc.org/documents/prevention/standards_180412.pdf
- Uhrmacher A.M. et al. (2008) One Modelling Formalism & Simulator Is Not Enough! A Perspective for Computational Biology Based on James II: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Vmedu, Inc.. (2016). Cuerpo de Conocimiento de Scrum. Scrum Body of Knowledge Guía SBOK (1-330). 410 N 44th Street, Suite 240 Phoenix, Arizona 85008 USA: ScrumStudy.

Propuesta De Un Marco General Para El Despliegue De Ciudades Inteligentes Apoyado En El Desarrollo De IoT En Colombia

Angela Tatiana Zona-Ortiz¹, Carlos Hernán Fajardo-Toro², Clara Milena Aguilar Pirachicán³

Angelazona@usantotomas.edu.co; chfajardo@universidadean.edu.co;
tatiana_zona@hotmail.com

^{1,3}Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

²Universidad Ean, Bogotá, Colombia

Pages: 894–907

Resumen: En la actualidad es importante, para la competitividad de cualquier país, el estar acorde a los avances requeridos en manejo de información, tanto en su acceso, recolección y uso, y así tener el desarrollo y crecimiento económico que brinde un bienestar adecuado a su población. Así mismo, uno de los grandes retos tiene que ver con la sostenibilidad buscando un equilibrio entre lo ambiental y lo económico. El desarrollo de Ciudades inteligentes ayuda a lograr este desarrollo, pero para ello se requiere seguir un modelo que tenga en cuenta las distintas capas que intervienen, así como una serie de políticas públicas adecuadas, este artículo desarrolla un marco de trabajo el cual puede ser útil para la Colombia, acorde a sus características y condiciones.

Palabras-clave: IoT; ciudades inteligentes; internet de las cosas

Proposal for a General Framework for the Deployment of Smart Cities Supported in the Development of IoT in Colombia

Abstract: Nowadays it is important for the competitiveness of any country, be consistent with the progress required with information management, both in access, recollection, and use, as well as the economic growth and development to provide adequate welfare to its population. Likewise, one of the great challenges is with sustainability, seeking a balance between environment and economic growth. The development of Smart Cities helps achieve this development, but this requires to follow a model that takes into account the different layers involved, as well as a number of appropriate public policies. This paper develops a framework that can be useful for Colombia, according to its characteristics and conditions.

Keywords: IoT; Smart Cities

1. Introducción

Diversos elementos convergen para la idea de la Smart Cities o ciudades inteligentes. Entre ellas están aspectos de sostenibilidad ambiental y económica (Desdemoustier, Crutzen, Cools, & Teller, 2019). Cuando hay una alta concentración de población, la ciudad está expuesta a varios problemas o desastres como la escasez de alimentos, agua o energía, el cambio climático, las fluctuaciones económicas, los conflictos sociales, la pérdida de tierras, la congestión del tráfico y el terrorismo (Zhu, Li, & Feng, 2019). Lo anterior lleva a los gobiernos y administraciones locales, a pensar en la implementación de políticas y planes que ayuden a que esto se implante (Caragliu & Del Bo, 2019; Desdemoustier et al., 2019) (Anand & Navío-Marco, 2018), más cuando la evidencia estadística sugiere la existencia de una asociación positiva entre la implementación de las políticas de Smart City y el crecimiento económico (Soyata, Habibzadeh, Ekenna, Nussbaum, & Lozano, 2019).

Ahora, para que una ciudad sea inteligente, se requiere del uso integrado de diversas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, dentro de las cuales se destacan las redes IP móviles, clouding, Big Data y el Internet de las Cosas. Se resalta ésta última tecnología porque promueve la transición hacia la Ciudad Inteligente de una forma práctica, toda vez que se puede implementar en pequeños sectores de una población y atendiendo diferentes necesidades en áreas de potencial desarrollo de la ciudad como el medio ambiente, el transporte, la salud, entre otros, para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (Camero & Alba, 2019).

Por otra parte, se considera que las ciudades inteligentes son un modelo sostenible para crecer al ritmo que lo hace la población urbana. De acuerdo al informe publicado en 2014 por las Naciones Unidas, en su documento “Prospectos de la Urbanización Mundial”, desde el 2007, la población mundial se ha mantenido predominantemente urbana. Actualmente, 54% de la población humana vive en ciudades. Se calcula que este índice llegara al 66% para el año 2050 (Camero & Alba, 2019; Ismagilova, Hughes, Dwivedi, & Raman, 2019) (Alavi, Jiao, Buttler, & Lajnef, 2018). Para el mismo año se predice que este índice en Latinoamérica, el Caribe y Norte América llegará al 80%, lo cual pone en evidencia la necesidad de que las ciudades se preparen para mejorar la gestión de recursos.

La tendencia en las principales ciudades del mundo es acoger las Ciudades Inteligentes como política pública. La tecnología se está integrando con todas las actividades diarias y con todos los sectores de la sociedad, lo que exige que a nivel macro en una ciudad exista una visión general para acoger la tecnología como elemento fundamental de desarrollo y actualización que sirva para mejorar la gestión de los gobernantes y la calidad de vida de los habitantes (Anand & Navío-Marco, 2018; Caragliu & Del Bo, 2019)

Ahora bien, para poder lograr una implementación de Smart cities, se hace necesario recurrir a diversos tipos de tecnología y herramientas TI que lo permitan (Bresciani, Ferraris, & Del Giudice, 2018; Ismagilova et al., 2019) (Alavi et al., 2018). Dentro de las tecnologías necesarias para construir una ciudad inteligente se encuentra la red de transporte de datos, en especial las comunicaciones móviles; el Big Data para el tratamiento de amplios volúmenes de información y el Internet de las Cosas como fuente de datos obtenidos de sensores desplegados en toda la ciudad y en diversas aplicaciones.

Actualmente se está entrando en lo que se ha llamado en la cuarta revolución industrial o *industry 4.0*, donde se emplea la tecnología para la automatización y digitalización de los procesos y las industrias (Fajardo-Toro, Aguilera-Castillo, & Guerrero-Cabarcas, 2019), siendo uno de los pilares de ésta tecnología es el Internet de las Cosas o IoT (por sus siglas en inglés (Internet of Things)). Con IoT los objetos se conectan y comunican entre sí a través de Internet. Esta evolución es posible gracias al desarrollo de las comunicaciones inalámbricas, los sensores, los dispositivos celulares y en general al desarrollo de la tecnología.

El crecimiento de la cantidad de objetos conectados a Internet desencadenó en nuevos productos, servicios y aplicaciones abriendo pasó al IoT. En 2008, el número de objetos conectados a Internet superó el número de habitantes en el planeta Tierra, y para el año 2020 se espera que la cantidad de objetos conectados alcance los 50 mil millones (Alavi et al., 2018). Este despliegue, significa mayor flujo de información en la red, y el desarrollo de la capacidad de comunicarse los dispositivos entre sí mismos sin la intervención humana.

El desarrollo de IoT permite agilizar y dinamizar el control de diferentes procesos de la vida cotidiana. desde el control de la energía del hogar remotamente hasta aplicaciones para dinamizar la industria y la ciudad, en áreas del transporte, salud, energía, logística, medio ambiente entre otros.

Como se puede concluir en un principio, para lograr la implementación adecuada de una Smart city, se requiere que exista, como base, una conectividad entre todas las tecnologías que se utilizan para lograrlo, y la base de esto está en la implementación de IoT. La finalidad de este artículo es mostrar un marco que sirva para la implementación IoT en Colombia bajo las características del país, y que ello sea la base para la implementación de Smart Cities. Para lograrlo se hará una exposición de los conceptos de Smart Cities, de IoT, tecnologías de conectividad requeridas, y se mostrará el marco de trabajo propuesto.

2. Definición de Ciudades Inteligentes y Sostenibles (SSC)

En la literatura se encuentran diferentes versiones del significado de Ciudad Inteligente y Sostenible, las cuales están marcadas por las visiones y las aspiraciones que cada sector tiene de una SSC. Sin embargo, sin importar el sector que genera el concepto, ya sea gubernamental, académico o corporativo, lo que tienen en común estas versiones es que dentro de la definición incluyen un modelo de ciudad que busca el mejoramiento de la calidad de vida y el uso eficiente de la infraestructura y servicios de la urbe mediante el uso de las TIC.

Se puede considerar que la definición más completa fue la producida por la asociación de la UNECE (Comité Económico Europeo de las Naciones Unidas, por sus siglas en inglés) y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Esta definición se basó en el análisis de 116 definiciones de SSC y fue una investigación realizada por el “Grupo de Enfoque de Ciudades Inteligentes Sostenibles” - FG-SSC, de la Comisión de Estudio 5 de la UIT (FG-SSC,2014). La definición fue aprobada por la UNECE-UIT y emitida al público general en octubre de 2015, la cual versa así:

Una Ciudad Inteligente y Sostenible es una ciudad innovadora que aprovecha las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia del funcionamiento y los servicios urbanos y la competitividad, al tiempo que se asegura de que responde a las necesidades de las generaciones presentes y futuras en lo que respecta a los aspectos económicos, sociales, medioambientales y culturales. (UNECE-ITU,2019)

3. Definición de Internet de las Cosas

Dentro de los entes de estandarización en Telecomunicaciones podemos encontrar diferentes definiciones técnicas de IoT. Por ello, se listará a continuación las principales definiciones encontradas de diferentes organismos de estandarización.

Otras organizaciones no se refieren directamente al Internet de las Cosas, utilizan palabras y frases altamente relacionadas como los términos M2M (Machine to Machine communications) y CPS (Cyber Physical Systems).

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) considera que las comunicaciones M2M se refieren a la interconexión física basada en telecomunicaciones para el intercambio de datos entre dos entidades compatibles con M2M, como: dispositivo, pasarelas e infraestructura de red. (ETSI,2013). Algunos organismos entienden IoT como sinónimo de M2M y en el sentido general los dos hacen referencia a la conexión de los objetos a Internet en cualquier lugar. Entonces, se puede decir que M2M es la tecnología que hace posible la comunicación entre dos o más dispositivos, mientras que IoT es la red de dichos

dispositivos interconectados para procesar la información y ofrecer servicios a la sociedad de la información.

3.1. Tecnologías para IoT

A nivel general, la Infraestructura TIC en la ciudad incluye tanto componentes de hardware como de software. A continuación se mostrarán los elementos fundamentales de IoT. (ver Figura 1). Para que IoT funcione en una ciudad inteligente, dentro de la infraestructura TIC se deben incluir más tecnologías. Empezando por garantizar el acceso a Internet, se debe contar con métodos de gestión y almacenamiento de altos volúmenes de datos, como Cloud Computing y el Big Data para el análisis de la información obtenida.

Para Identificación y sensado de los objetos en IoT, se cuenta sensores para recolectar la información deseada, identificación única para que se puedan comunicar inequívocamente dentro de una red, procesamiento embebido a través de microcontroladores para procesar la información capturada por los sensores. Los sensores IoT pueden ser sensores inteligentes, actuadores o sensores portátiles. Para la identificación de los objetos se utilizan diversas tecnologías, dentro de las cuales principalmente se encuentran RFID, EPC y NFC, como se explicará a continuación.

Para la Comunicación, Los objetos deben tener la capacidad de acceder a la red de Internet para hacer uso de los datos y enviar la información de estado actualizada, principalmente se utilizan tecnologías inalámbricas. Dentro de los principales se emplean WiFi, GSM, 4G,

Zigbee, IEEE 802.15.4. También están las redes LPWAN o Redes de área amplia de baja potencia (por su significado de las siglas en Inglés), conectan objetos para los que no existe una solución de conectividad práctica, cubriendo distancias que van hasta unos pocos kilómetros.

En cuanto a Computación y Semántica, IoT requiere de plataformas de hardware y software para almacenamiento y procesamiento de los datos, así como de procesos de análisis que extraigan los datos relevantes, los modelen y los conviertan en información útil. Estos procesos se convierten en el cerebro detrás de IoT. La semántica en IoT es soportada por tecnologías de Web Semánticas, donde el formato Efficient XML Interchange (EXI) se adoptó como recomendación por el consorcio World Wide Web (W3C) (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015).

4. Marco de diseño una ciudad inteligente a través de internet de las cosas

Las iniciativas de ciudad inteligente son una respuesta de los gobiernos para los retos que representa el crecimiento de las ciudades aprovechando las oportunidades que implica emplear las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones para administrar de mejor forma las ciudades y gestionar sus recursos e infraestructura. Sin embargo, los países donde han implementado iniciativas de Ciudades Inteligentes y Sostenibles han puesto de manifiesto problemas técnicos, de gestión y gobernanza debido a la compleja integración de sistemas que significa el despliegue de una ciudad inteligente.

A partir de la revisión de las experiencias, específicamente en España y Estados Unidos, así como de lecciones aprendidas de otras iniciativas y de las recomendaciones internacionales, se forma una guía para formular políticas, estrategias y mecanismos institucionales de habilitación que orienten a gobernantes, profesionales e interesados en general en la adopción de la ciudad inteligente.

4.1. Ruta de adopción de Ciudades Inteligentes

Con el fin de establecer un marco de referencia en el despliegue de ciudades inteligentes, se estudiaron ciudades donde se han establecido planes hacia una ciudad inteligente y recomendaciones de organizaciones internacionales. Tomando en cuenta especialmente el Plan Nacional de Ciudades Inteligentes de España (Gobierno de España, 2015) como ejemplo práctico, y las recomendaciones para los líderes de ciudad de la UIT (ITU-T, Focus Group on Smart Sustainable Cities, 2015), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, 2015) y el Consejo de Ciudades Inteligentes (Smart Cities Council, 2015) se concluye que se deben seguir unas etapas básicas para la adopción de una ciudad inteligente para que su adopción y despliegue se realice de manera organizada y que tenga en cuenta las necesidades y limitaciones del contexto en que se desarrolla.

A continuación, se establecen 6 etapas básicas que deben incluirse en el modelo de desarrollo de una ciudad inteligente las cuales se definen:

- **Evaluar la situación:** Para tener una visión holística de la ciudad, es necesario primero realizar una evaluación de qué se tiene y en qué
- **Definir visión de SSC:** Conformar una ciudad inteligente es un gran proyecto, por tanto requiere una visión a largo plazo, entre 10 a 20 años. Ésta visión

debe ser dinámica y continuamente revisada, además debe hacer notar a los ciudadanos porque una iniciativa como ésta es importante.

- **Establecer objetivos:** De acuerdo a la identificación de necesidades de la ciudad, se debe establecer las metas de infraestructura y servicios inteligentes que fortalezcan el desarrollo de la ciudad.
- **Estructurar Plan y Diseñar SSC:** En la estructuración del plan se deben estudiar los habilitadores del desarrollo, impactos económicos, sociales y políticos a contemplar
- **Construcción de la Ciudad Inteligente:** Esta etapa debe estar orientada por un plan maestro que funcione de guía para los involucrados y ayude a realizar la transición hacia SSC.
- **Seguimiento del progreso:** Se trata de cuantificar el éxito de la ciudad inteligente como proyecto, a través de la evaluación de los indicadores adoptados con los objetivos iniciales.

4.2. Actores de la Ciudad Inteligente y sus relaciones

El desarrollo de una ciudad inteligente significa la participación de diferentes interesados que aúnen esfuerzos e iniciativas dentro de un proceso colaborativo para la toma de decisiones. De la forma de interacción entre los interesados se desprenden modelos de despliegue de ciudades inteligentes, donde se establece el papel de cada interesado y el balance que debe existir entre estos para alcanzar los objetivos de la ciudad.

De estos papeles, cabe destacar el papel del gobierno como parte central en la integración y participación de los demás involucrados, estableciendo la guía de ruta y planes de acuerdo a los objetivos de la ciudad.

Por otra parte, se identifica como otro interesado central a las empresas, ya sean privadas o públicas. Las empresas pueden ejercer el papel de proveedores de servicios o de inversionistas. En el primer papel proveen servicios como agua, energía, manejo de basuras, salud, transporte, telecomunicaciones, entre otros; asimismo, son aquellos que proveen soluciones tecnológicas especializadas como las aplicaciones de movilidad o vivienda.

Igualmente, se involucra a la academia y las organizaciones no gubernamentales, pues son parte interesada que se centra en el “cómo” más que en el “por qué” de las iniciativas, dado que enfocarse en sólo el “por qué” impide la rápida adopción de las soluciones.

Por último y no menos importante, se identifica a los ciudadanos quienes deben ser los principales apoderados, usuarios y beneficiarios de la tecnología. Los ciudadanos son aportadores de ideas porque conocen las necesidades.

4.3. Gestión de ciudad y toma de decisiones

Tradicionalmente, la puesta en marcha de las políticas de una ciudad se aplica bajo el enfoque “Top-to-down”. Es decir, los niveles más altos de dirección del Estado son quienes centralizan y definen los propósitos y visión de la ciudad.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que el mero hecho de hablar de Ciudades Inteligentes e Internet de las Cosas representa innovación para la ciudadanía e involucra millones

de sensores escuchando la ciudad, se deben buscar alternativas innovadoras para el establecimiento de políticas y la toma de decisiones de manera que pueda incluir las expectativas de los interesados. En este sentido, se presenta el enfoque “Bottom-Up”, el cual cambia la perspectiva para involucrar a los niveles más bajos de la cadena de implementación de políticas.

Internet de las cosas facilita la implementación de un enfoque “Bottom-Up”. A través de los sensores instalados en la ciudad, se conoce y se modela el comportamiento de la ciudad, identificando las áreas que requieren mayor atención.

Tomando los dos enfoques se propone un modelo mixto, que mezcla Top-to-down con Bottom-up reúne lo mejor de ambos mundos y evita las trampas comunes (ver figura 2). Este enfoque se menciona en la guía de modelo de ciudades inteligentes del Smart Council (Smart Cities Council, 2015), sin embargo, se intenta desarrollar un modelo más amplio aquí.

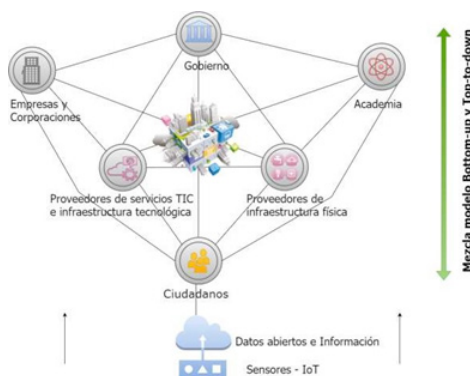


Figura 2 – Gestión de ciudad, modelo mezcla “Bottom-up” y “Top-to-Down”

5. Modelo propuesto de despliegue de ciudad inteligente

Para esto, se realiza una agrupación de conceptos (ver figura 3), donde se enfatiza la gestión y recursos que se requieren para tomar una aplicación IoT e integrarla a un mundo de servicios para la ciudad. El modelo de ciudad recoge varios conceptos de la bibliografía consultada, teniendo en cuenta el modelo propuesto por la UIT en la recomendación técnica de la Hoja de ruta de estandarización de ciudades inteligentes y sostenibles (Standardization roadmap for smart sustainable cities) (ITU-T, Focus Group on Smart Sustainable Cities, 2015) y su marco de desarrollo, haciendo énfasis en la necesidad de unas plataformas de gestión integrada y servicios que maximicen los recursos físicos e informáticos existentes.

Inicialmente se tiene una base de infraestructura de ciudad, como el sistema de acueducto y alcantarillado, el sistema de energía y alumbrado público, el sistema vial y demás entornos que cubren los servicios básicos de los habitantes de la ciudad.

Posteriormente se encuentra la infraestructura TIC, que se ajusta a la arquitectura IoT, donde se tiene la capa de dispositivo, la capa de red, la capa de gestión de servicio (o middleware) y la de aplicaciones. Por otro lado, cuando se revisa la arquitectura IoT de manera apartada, solo se tiene en cuenta la estructura para una aplicación mientras que para una ciudad se requiere aprovechar al máximo la información obtenida de los objetos para darle valor agregado y utilizarla en uno o más servicios donde lo requiera la ciudad, es por ello que se agrega la capa de servicios a manera de integración de la información obtenida de las aplicaciones.

Las ciudades que han alcanzado niveles avanzados de desarrollo de ciudades inteligentes han desarrollado cada una de sus áreas al máximo, para luego lograr una conexión entre sí. Esta tarea de integrar la información en diferentes servicios de la ciudad requiere de centros de gestión y control más complejos donde la accesibilidad a la información e interoperabilidad y comunicación entre plataformas es fundamental para obtener una tecnología funcional para los servicios de la ciudad en tiempo real. Los centros de información pueden ser desarrollados para un servicio específico, como el de movilidad, pero la información analizada y clasificada será mejor aprovechada si se comparte con otro centro de control como por ejemplo el de monitoreo del medio ambiente, pues allí servirá conocer los puntos de mayor tráfico que por ende requieren mejores y mayores planes de control de contaminación del aire. Los centros de gestión y control además, funcionan como herramienta para visualizar el comportamiento de la ciudad y a establecer objetivos y planes de acuerdo a las estadísticas y gráficos obtenidos de la información depurada.

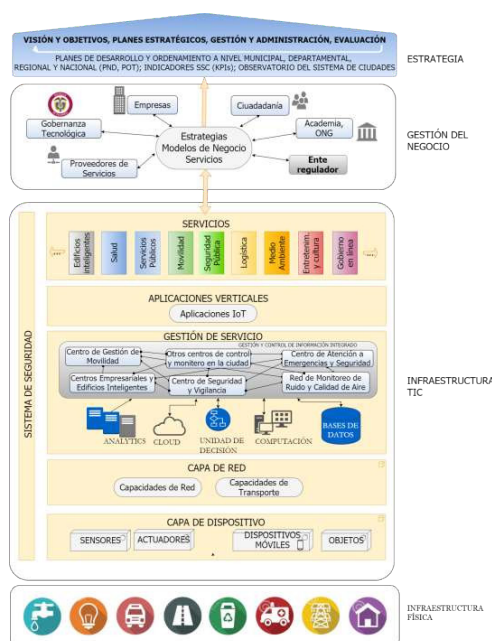


Figura 3 – Modelo propuesto para el despliegue de Ciudades inteligentes en Colombia

5.1. Aproximación de adopción de ciudades inteligentes en Colombia

A continuación, se expone un marco general que permita visualizar como IoT facilita el desarrollo de Ciudades Inteligentes Sostenibles en Colombia basado en el cuerpo de conocimiento y el análisis comparativo nacional e internacional.

Colombia es un país altamente urbano. En este indicador el país está por encima del promedio a nivel mundial y es uno de los países de Latinoamérica que estaría cumpliendo el pronóstico de las Naciones Unidas de llegar en el 2050 a un 80% de población urbana. De acuerdo al CONPES 3819 de 2014 (Departamento Nacional de Planeación, 2014), el nivel de urbanización en Colombia en 2010 era del 76%, con 41 ciudades de más de

100.000 habitantes, como se muestra en la Tabla 2. De tal forma, las cifras presentadas plantean retos para el país por un lado, en el sentido de revisar las políticas actuales de sostenibilidad, fortalecimiento y apoyo a la vida rural para desacelerar la migración de su población, y por el otro, representan un reto de hacer la vida en la ciudad sostenible y de calidad dada la alta tasa de crecimiento de su población.

Rangos	1951	1973	2010	2035*	2050*
Población rural (millones)	7	9,3	10,8	9,5	8,5
Población urbana (millones)	4,5%	13,5	34,7	48	52,6
Nivel de urbanización (%)	39%	59%	76%	83%	86%
No. de ciudades con más de 100.000 habitantes	6	18	41	64	69
No. de ciudades con más de 1.000.000 habitantes	0	2	4	5	7

Tabla 2 – Evolución y proyecciones del proceso de urbanización en Colombia

De acuerdo al citado reporte y a la clasificación y definición propuesta de CPI básico de la ONU-Habitat para una comparación internacional, Bogotá y Bucaramanga se encuentran dentro del grupo de ciudades con “valores sólidos”. Por otro lado, en su gran mayoría las ciudades colombianas (17 ciudades) se clasificaron dentro del grupo de “valores moderados sólidos”, es decir, ciudades en consolidación de instituciones públicas, de marcos legales y regulatorios, pero cuentan con las funciones necesarias para avanzar en términos de prosperidad.

5.2. Planes y Políticas existentes

Los planes existentes en Colombia proponen proyectos y políticas para el ordenamiento territorial y propender por el desarrollo de infraestructura física para el despliegue de ciudades inteligentes, sin embargo, como tal no existe un plan u hoja de ruta general para el despliegue de Ciudades Inteligentes en Colombia. Como se ha mencionado, para la adopción de urbes inteligentes y de tecnología IoT que sea funcional para la ciudad se requieren metas de largo plazo conforme a las necesidades de la ciudad y planes de despliegue que cohesiones esfuerzos interinstitucionales.

Por su parte el Ministerio TIC realizó un primer acercamiento al marco de ciudades inteligentes en 2014 a través de un documento base de política. El documento plantea objetivos y recomendaciones que deberán hacer parte de la implementación de una política de ciudades inteligentes en Colombia, así como un plan de acción que define las actividades a llevar a cabo para su puesta en práctica (MinTIC, 2014).

Sin embargo, luego de una revisión de los proyectos actuales, no hay objetivos y planes concretos para las ciudades inteligentes a nivel nacional, solo se observan algunas iniciativas locales.

5.3. Modelo de implementación de ciudades inteligentes en Colombia

Conforme a las iniciativas y desarrollos revisados, se puede establecer que Colombia se encuentra en la primera fase de la evolución de una Ciudad Inteligente, es decir un nivel de desarrollo de servicio individual donde solo las principales ciudades se encuentran hacia una transición a la segunda fase para ofrecer servicios avanzados. Las fases de evolución de una SSC se obtienen de acuerdo a un informe de Smart City de Seúl de la ITU a la Unión Internacional de Telecomunicaciones, donde se establecen 3 fases:

Fase I: Nivel de servicio individual, se aplica TIC para mejorar las operaciones individuales de la ciudad tales como transporte, seguridad, ambiente y cultura.

Fase II: El nivel de servicio vertical, integra los procesos relacionados y servicios de ciudad inteligente en mayores sectores de la ciudad, habilitando la provisión de más servicios avanzados.

Fase III: Es el nivel de servicio horizontal, es un punto de desarrollo donde no hay distinción entre las diferentes áreas de servicio con todas las partes integradas con un ecosistema de ciudad inteligente eficiente.

En la fase uno se empieza a integrar tecnologías en los procesos de la ciudad, en Colombia se destaca el desarrollo de aplicaciones IoT y en general aplicaciones TIC agrupados para un servicio específico, como movilidad o medio ambiente. Bogotá y Medellín son las ciudades que han empezado a liderar la transformación de aplicaciones o servicios individuales en información que permite sacar provecho para enriquecer un sector, de los cuales se destaca los desarrollos en movilidad y seguridad.

Entonces, vale la pena revisar qué se requiere para pasar de una fase a otra. En ese sentido el modelo propuesto de arquitectura y despliegue de ciudades inteligentes contribuye a organizar la ciudad de tal manera que se pueda expandir en cualquier aplicación o sector para el fortalecimiento de las ciudades a través de las TIC, en especial de IoT. Dicho modelo enfocado en Colombia se presenta en la Figura 3. El modelo presentado integra los conceptos vistos a lo largo del trabajo. Incluye la infraestructura física, el desarrollo de la tecnología y su expansión hacia servicios de ciudad bajo unos objetivos y metas de largo plazo establecidos de la interacción entre los interesados de la ciudad.

Con base a lo anterior, respecto a la evolución de una ciudad inteligente, se establecen unos requisitos principales para que una ciudad pase de una fase a otra. Claramente para ingresar a la fase 1 se requiere que las ciudades se encuentren al menos en la categoría del índice de Prosperidad de “valores moderados sólidos” o “valores sólidos”, pues se

requiere una fortaleza estructural física, institucional y política, donde las tecnologías sean funcionales. Los siguientes son condiciones básicas

Fase 1 a 2

- Despliegue de infraestructura tecnológica, tanto de sensores en función de un servicio como del desarrollo de capa de red y centros de gestión, ya sea salud, servicios públicos o seguridad.
- Ampliación de aplicaciones verticales en función de un servicio.

Fase 2 a 3

- Metas y objetivos específicos a largo plazo de ciudades inteligentes.
- Apropiación de la tecnología por parte de la ciudadanía.
- Modelos de negocio sostenibles.
- Desarrollo de aplicaciones IoT en función de uno o más servicios.
- Compartir información entre servicios hacia una expansión horizontal que beneficie la ciudadanía y que aproveche los recursos físicos e informáticos.
- Los centros de gestión, monitoreo y control deben ampliarse para trabajar por uno o más servicios de la ciudad.
- Interoperabilidad y coordinación entre centros de gestión y control.
- Políticas por niveles de seguridad y privacidad de la informa

6. Conclusiones y trabajo futuro

Para que Colombia pueda hacer la implementación de las Ciudades inteligentes, requiere una política pública que permita realmente lograr este objetivo; esto por los compromisos que se requieren tanto de los entes públicos como el ministerio de comunicaciones y entes locales, como por la formación que requieren ciudadanos y organizaciones quienes serán sus principales beneficiarios. Lo anterior implica grandes inversiones de estado en infraestructuras y tecnologías de comunicaciones, no solo para las grandes ciudades, sino para zonas rurales. En detalle, se debe enfrentar a los siguientes retos:

Retos de Gestión

- Conocimiento, aceptación y apropiación de la tecnología por parte de la ciudadanía, pues son quienes finalmente la utilizan, por lo que la apropiación es requerida para conservar la infraestructura y enriquecer las fuentes de la información.
- Cambiar el modelo de gobernanza a la propuesta mezcla “Top-down” – “Bottom Up”. Más que una ciudad inteligente, la tecnología se encamina hacia el beneficio de la ciudadanía, lo que algunos llaman “gente inteligente”. Para establecer la visión y objetivos de ciudad inteligente se requiere ampliar la participación de la ciudadanía y el diálogo entre los diferentes actores de la ciudad.
- Mantener la visión y los objetivos de largo plazo a pesar del cambio de gobernantes.
- Lograr un nivel de desarrollo económico, social, así como en infraestructura física y fortalecimiento de instituciones para aquellas ciudades y municipios con

altos niveles de desigualdad y pobreza (clasificados como ciudades con factores de prosperidad débiles, según UN-Habitat) para que existan las condiciones básicas donde se pueda implementar la tecnología.

- Modelo de negocio: Para crear una infraestructura a gran escala sostenible se debe crear un modelo de negocio que tenga en cuenta:
- Establecer los indicadores estándar internacionales a ser utilizados, con los que se pueda medir a la ciudad y hacer una comparación efectiva para evaluar las medidas y estrategias implementadas.

Retos Técnicos

- Sistema de gestión de identificación y direccionamiento único de los objetos, dado que se espera que en 2020 existan 50 mil millones de dispositivos conectados a Internet.
- Identificar e implementar protocolos y arquitecturas de red escalables.
- Configuración de gran cantidad de sensores y su sincronización y coordinación en tiempo real.
- Diseño de tecnología que se adapte a los lineamientos de gestión del espectro que dicte la ANE para la transmisión de datos Wireless. En algunos casos capaces de tener la capacidad de saltar de banda de acuerdo a las frecuencias libres o a los espacios en blanco para que sea aprovechado el recurso y sostenible el modelo.
- Capacidades de almacenamiento y procesamiento de datos en tiempo real. Los sistemas deben ser capaces de admitir una gran cantidad de aplicaciones de dispositivos diferentes, analizar los datos y transformarlos en información de valor agregado útil para la toma de decisiones.
- Coordinación e interoperabilidad entre centros de control y gestión dada la heterogeneidad de sistemas.
- Los centros de gestión y control como punto intermedio del modelo son integradores de los servicios y de la visión de gestión del negocio con la capa inferior TIC para cumplir los objetivos y visión de ciudad.
- Integrar Internet de las Cosas con los sistemas existentes TIC.
- Dar valor agregado a los datos a través de aplicaciones que resulten útiles para la ciudadanía.

Retos regulatorios

- La política de datos en cuanto uso, acceso, seguridad y privacidad
- Identificación de dispositivos IoT: En este se deberá establecer entre otros, los tipos de identificación a ser utilizados por los dispositivos, los estándares a acoger, los protocolos involucrados y el método de asignación de identificador.
- Gestión del espectro.
- Proveer una guía en las mejores prácticas de las ciudades. A partir del conocimiento de las buenas prácticas en otras partes del mundo se puede lograr una base que facilite la reglamentación o no reglamentación de los temas vitales para la evolución hacia ciudades sostenibles tecnológicamente.

Referencias

- Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 129(December 2017), 589–606. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.067>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Anand, P. B., & Navío-Marco, J. (2018). Governance and economics of smart cities: opportunities and challenges. *Telecommunications Policy*, 42(10), 795–799. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.10.001>
- Bresciani, S., Ferraris, A., & Del Giudice, M. (2018). The management of organizational ambidexterity through alliances in a new context of analysis: Internet of Things (IoT) smart city projects. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.002>
- Camero, A., & Alba, E. (2019). Smart City and information technology: A review. *Cities*, 93(April), 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.014>
- Caragliu, A., & Del Bo, C. F. (2019). Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142(May 2018), 373–383. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.022>
- Departamento Nacional de Planeación, «Conpes 3819 - Política nacional para consolidar el sistema de ciudades en Colombia,» 21 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3819.pdf>.
- Desdemoustier, J., Crutzen, N., Cools, M., & Teller, J. (2019). Smart City appropriation by local actors: An instrument in the making. *Cities*, 92(April), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.021>
- ETSI, «Technical Recommendation ETSI TR 102 725: “Machine to machine definitions”,» Francia, 2013.
- Fajardo-Toro, C. H., Aguilera-Castillo, A., & Guerrero-Cabarcas, M. (2019). Doing More With Less. In Alicia Guerra Guerra (Ed.), *Doing More With Less: The Impact of New Technologies on Labor Markets, Economy, and Society* (1st ed., pp. 1–17). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7074-5.ch001>
- Gobierno de España. Ministerio de Industria y Turismo, «Plan Nacional de Ciudades Inteligentes,» España, 2015.
- IEC - International Electrotechnical Commission, «Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities,» 2014. [En línea]. Available: www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-smartcities-LR-en.pdf.

- Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., & Raman, K. R. (2019). Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *International Journal of Information Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>
- ITU-T, Focus Group on Smart Sustainable Cities FG-SSC, «Smart sustainable cities: An analysis of definitions,» 2014.
- ITU-T, Focus Group on Smart Sustainable Cities FG-SSC, «TR Smart sustainable cities: a guide for city leaders,» 2015
- MinTIC, «Política de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para Ciudades y/o Territorios Inteligentes,» Bogotá, 2014.
- Smart Cities Council, «Smart Cities Readiness Guide,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.estudislocals.cat/wp-content/uploads/2016/11/SmartCitiesReadinessGuide.pdf>.
- Soyata, T., Habibzadeh, H., Ekenna, C., Nussbaum, B., & Lozano, J. (2019). Smart city in crisis: Technology and policy concerns. *Sustainable Cities and Society*, 50(April). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101566>
- UNECE-ITU, «Recomendación ITU-T L.1603, Key performance indicators for smart sustainable cities to assess the achievement of sustainable development goals,» Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx>,
- Zhu, S., Li, D., & Feng, H. (2019). Is smart city resilient? Evidence from China. *Sustainable Cities and Society*, 50(June). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101636>

Metodología Para Toma De Decisiones Gerenciales En Infraestructuras IT

Carlos Hernán Fajardo-Toro¹, Angela Tatiana Zona-Ortiz²,
Wiber Eduardo Fuentes Camacho³

chfajardo@universidadean.edu.co; Angelazona@usantotomas.edu.co;
wfuentes3187@universidadean.edu.co

^{1,3}Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

²Universidad Ean, Bogotá, Colombia

³Claro Colombia

Pages: 908–920

Resumen: En el presente trabajo se propone el desarrollo de una metodología que permitirá a la compañía X, compañía de telecomunicaciones y prestadora de servicios de IT, brindar valor agregado para la toma de decisiones sobre las infraestructuras IT de los clientes que hospedan servicios administrados dentro de los Data Center de la compañía X. La metodología propuesta está enfocada en la toma de decisiones gerenciales sobre plataformas IT, mediante el proceso de recolección y conversión de datos que arrojan como resultado información clara y precisa de la gestión de infraestructura IT, visualizada a través de un modelo grafico amigable y fácil de entender, lo que permite a los clientes tener el panorama completo de los servicios alojados en la compañía. Esto se logra a través del estudio de algunos marcos de referencia que permiten hacer uso de la Arquitectura Empresarial y de las herramientas tecnológicas con las que cuenta internamente la compañía, por tanto, más allá de la funcionalidad que brinda esta metodología a los clientes, se identifican beneficios propios para X Colombia en cuanto a la eficiencia en la entrega de los reportes debido a la reducción de tiempos de generación de estos y optimización de costos

Palabras-clave: Arquitectura empresarial, TOGAF, Servicios IT, Communications services

Methodology for Management Decision Making in IT Infrastructure

Abstract: This paper proposes the development of a methodology that will allow company X, a telecommunications company and IT service provider, to provide added value for decision-making on the IT infrastructures of clients that host managed services within the Data Center of the company X. The proposed methodology is focused on making management decisions on IT platforms, through the process of collecting and converting data that result in clear and accurate information on IT infrastructure management, visualized through a friendly

and easy-to-understand graphic model, which allows customers to have the full picture of the services housed in company X. This is achieved through the study of some frames of reference that allow the use of Business Architecture and the technological tools that the company has internally, therefore, more After the functionality offered by this methodology to customers, X Colombia's own benefits are identified in terms of efficiency in the delivery of reports due to the reduction in their generation times and cost optimization

Keywords: Enterprise Architecture, IT services, TOGAF, Communications services

1. Introducción

Con la evolución de las tecnologías, aumenta la creación de nuevos servicios para el consumo para usuarios finales en el ámbito de uso personal o empresarial. La tecnología ha contribuido al incremento y exigencia de los usuarios en cuanto al consumo, calidad y disponibilidad de los servicios adquiridos, lo que ha llevado a los proveedores de estos servicios a reinventarse y dejar de competir solamente por precios, enfocándose en la experiencia de servicio y satisfacción de cliente. Para esto se han implementado procesos, prácticas y tecnologías que les puedan ayudar a esta tarea. Las tendencias fundamentales que se observan en el horizonte de los próximos años, se agrupan en cuatro grandes pilares: La nube (Cloud), lo social (Social media y Social business), movilidad (tecnologías, redes y dispositivos) y Big Data (Información en forma de Grandes datos)” (Joyanes Aguilar, 2015, p. 42).

La globalización como proceso de interconexión haciendo uso de las herramientas de inteligencia artificial (A.I), el internet de las cosas (IoT), Cloud Computing y el Big Data, apoyan la toma de decisiones hoy en día. Más ahora que la información cambia constantemente y necesita ser visualizada y evaluada en línea, donde los usuarios de los servicios son cada día más exigentes y conocedores de los entornos digitales, lo que hace más difícil poder prestar servicios de calidad a costos razonables y competitivos en el mercado(Alavi, Jiao, Buttler, & Lajnef, 2018; Marques et al., 2019)(Gómez, Serna, Dario, & Francisco, 2010; Valle, Albarraín, Edgar, & Valle, 2014).

Los clientes que contratan servicios TIC, buscan en sus proveedores un aliado estratégico experto en el manejo de servicios y tecnologías que les ayuden a transformar digitalmente sus compañías y, apalancar sus objetivos y estrategias de negocio. Al buscar este tipo de alianzas, los clientes buscan transferir responsabilidades, riesgos, minimizar costos y desentenderse de problemas que no están asociados a sus procesos o competencias de negocio, lo que les permite concentrarse y enfocarse en su negocio al 100%. Claramente sin olvidar que las TIC's serán el apoyo para alcanzar las metas trazadas.

Con base a lo anterior, este trabajo tiene como alcance proponer una metodología para la toma de decisiones gerenciales sobre infraestructuras IT, que les permita a los clientes de esta compañía conocer el estado real de los servicios, sistemas e infraestructura que soporta sus servicios de negocio y tomar acciones sobre esta. La metodología contribuye a mitigar fallas, optimizar recursos y garantizar la usabilidad y disponibilidad de los

servicios de negocio de la compañía. Para lograr este objetivo, se realizó un diagnóstico y análisis del estado actual de las herramientas e información que es entregada a los clientes de la compañía para medir el rendimiento, desempeño y disponibilidad de sus servicios, y con base en esto, realizar una propuesta metodológica que les permita un mejor análisis de esta información y así tomar mejores decisiones sobre la infraestructura IT que soporta sus servicios clave de negocio.

Para lo anterior, se hará una exposición resumida de marcos de trabajo para definir de arquitectura empresarial dada la importancia que tiene conocer la arquitectura de la organización y con base en ello hacer la propuesta de servicios de TI a ser ofrecidos y medidos, luego se hará una exposición metodológica de como se establece un diagnóstico de situación actual, de lo que esperan los clientes y con base en ello mostrar la metodología propuesta.

2. Arquitectura empresarial

La arquitectura empresarial (EA), ofrece una visión general de alto nivel de los sistemas empresariales y de TI de una empresa y sus interrelaciones (Gong & Janssen, 2019). La arquitectura empresarial se define: *“como una disciplina que es capaz de crear una visión general y conocimientos necesarios para traducir la estrategia en ejecución, lo que permite a la alta gerencia asumir las decisiones clave sobre el diseño de la futura empresa”* (van den Berg, Slot, van Steenbergen, Faasse, & van Vliet, 2019) y define los estados actuales y futuros deseables de los procesos, capacidades, sistemas de aplicación, datos e infraestructura de TI de una organización y proporciona una hoja de ruta para alcanzar este objetivo desde el estado actual (Shanks, Gloet, Asadi Someh, Frampton, & Tamm, 2018).

Ahora bien, existen marcos de referencia que permiten ayudar a definir todos los elementos necesarios, partiendo del plan estratégico como base para establecer los requerimientos, hasta la definición de arquitecturas, procesos de implementación y puesta en marcha. Las más conocidas son la metodología TOGAF y el modelo de Zachman,

2.1. Marco TOGAF 9.1

Creado por los miembros del consorcio The Open Group Architecture Framework, herramienta para asistir en la aceptación, creación, uso y mantenimiento de arquitecturas, proporciona la metodología para el desarrollo de arquitecturas; a través del ADM (Método de Desarrollo de la Arquitectura), busca una comprensión detallada y más precisa, proporciona un marco de mejores prácticas, agregando valor y permitiendo a las organizaciones la construcción de soluciones viables y gestión de cambio con menos costo de operación, mayor agilidad de la organización, flexibilidad en mano de obra o personal, este marco es de uso libre (Goepf & Petit, 2017; Thönssen & Von Dewitz, 2018). TOGAF cubre el desarrollo de cuatro (4) tipos de Subconjuntos de la Arquitectura Empresarial, como se describe en la tabla a continuación (Andrew Josey, 2013):

TIPO DE ARQUITECTURA	DESCRIPCIÓN
Arquitectura de Negocio	La estrategia de negocio, gobierno, organización y procesos clave de la organización.
Arquitectura de Datos o Información	La estructura de datos lógicos y físicos que posee una organización y sus recursos de gestión de datos.
Arquitectura de Aplicación	Un plano de las aplicaciones individuales a implementar, sus interacciones y sus relaciones con los procesos de negocio principales de la organización.
Arquitectura Tecnológica	Las capacidades de software y hardware que se requieren para apoyar la implementación de servicios de negocio, datos y aplicación. Esto incluye infraestructura de IP, capacidad de mediación (middleware), redes, comunicaciones, procesamiento y estándares.

Tabla 1 – Tipos de Arquitectura soportados por TOGAF

El Marco de Referencia TOGAF está compuesto por herramientas en las que se destacan:

Architecture Development Method (Método de Desarrollo de Arquitectura)

- **ADM:** Describe paso a paso el desarrollo de la Arquitectura Empresarial. Es el Núcleo de TOGAF.

Enterprise Continuum (Continuum de Empresa): Es el repositorio de los activos de la Arquitectura, proporciona un modelo para estructurar un repositorio virtual (patrones, descripciones de arquitectura. Apoya la reutilización y el soporte a la comunicación.

Repositorio de la Arquitectura - Almacén de información de los elementos resultantes del ADM.

El ADM incluye un número de fases o ciclos iterativos el establecimiento de un marco de arquitectura, desarrollo de contenidos de arquitectura, la transición y gobierno de la realización de arquitectura, permite a las organizaciones la transformación controlada para el cumplimiento de los objetivos de la organización. La figura 1 describe la estructura básica del ADM de TOGAF:

En la Tabla 2, se describen las actividades o fases que contempla el ADM de TOGAF 9.1, y las cuales serán una base importante para el desarrollo de la metodología que se propondrá en este trabajo (Andrew Josey, 2013).

FASE DE ADM	ACTIVIDADES
Preliminar	Preparación de la organización para la implementación de TOGAF
A. Visión de Arquitectura	Establecer el alcance, las limitaciones y las expectativas del proyecto
B. Arquitectura de Negocio C. Arquitecturas de Sistemas de Información D. Arquitectura de Tecnología	Desarrolla arquitecturas en 4 dominios: •. Negocio •. Sistemas de Información – Aplicaciones •. Sistemas de Información – Datos Tecnología (AS – IS / TO BE / Análisis de Brecha)
E. Oportunidades y Soluciones	Planificación de la implementación inicial y las posibles Arquitecturas de Transición

FASE DE ADM	ACTIVIDADES
F. Planificación de la Migración	Plan detallado de implementación y Migración AS-IS TO BE
G. Gobierno de la Implementación	Supervisión de la implementación de la arquitectura definida
H. Gestión de cambios de la Arquitectura	Proceso de gestión del cambio y vigilancia continua para asegurar que la arquitectura responde a las necesidades de la organización
I. Gestión de requerimientos	Cada etapa de un proyecto de TOGAF está basada en los requerimientos del negocio, incluyendo su validación.

Tabla 2 – Actividades del ADM por fase

2.2.Marco de Referencia de ZACHMAN

Creado por John A. Zachman en 1984 y publicado por primera vez en IBM Systems Journal en el año 1987 (Zachman, 2008). Esta metodología representa en sus filas de la matriz “los diferentes perfiles, roles y habilidades que se espera interacción en el proceso especialmente en los problemas de comunicación y entendimiento entre dichos perfiles” (figura 2).

Esta metodología representa en sus filas de la matriz “los diferentes perfiles, roles y habilidades que se espera interacción en el proceso especialmente en los problemas de comunicación y entendimiento entre dichos perfiles” (Bondar, Hsu, Pfouga, & Stjepandić, 2017; Lapalme et al., 2016)(Maldonado, 2006) y las columnas definidas como “cuestiones como parte de los dominios, que se cruza con los modelos anteriores y que deben ser respondidas por cada perfil para poder definir de forma completa la Arquitectura” (Portocarrero, 2017)

Las columnas son denominadas nombres de clasificación y contienen los siguientes:

- ¿Qué?: (Inventory Sets) Describe las entidades involucradas en cada punto de vista de la empresa objetivo.
- ¿Cómo?: (Process flow) Describe las funciones dentro de cada perspectiva
- ¿Dónde?: (Distribution Networks) Muestra las localizaciones e interconexiones dentro de la empresa
- ¿Quién? (Responsability assignments) Describe las relaciones de las personas dentro de la empresa, tiene que ver con la carga laboral y la estructura de autoridad y responsabilidad; asignación de responsabilidades a las personas con roles específicos.
- ¿Cuándo? (Timing Cycles) Está relacionado con el tiempo o el caso de las relaciones que establecen criterios de rendimiento y niveles cuantitativos de los recursos de la empresa.
- Y por último ¿Por qué? (Motivación Intentions) Está relacionado con las motivaciones y objetivos de la empresa.

Hay más marcos de referencias como es el Gartner o el FEA – *Federal Enterprise Architecture model*, pero para efectos del desarrollo del modelo aquí presentado, realmente se miraron los dos anteriores, donde el modelo Zachman resultó de utilidad para el diseño del instrumento de recolección de información con los clientes para determinar su arquitectura, así como el TOGAF para lo que es la serie de pasos a seguir

con la metodología, aunque es importante recordar, que se toma solo una parte de este último framework.

3. Desarrollo del modelo

Para el desarrollo del modelo, se siguieron los siguientes pasos:

1. Se Estableció el mecanismo para realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de generación de informes mensuales para clientes de la compañía. Era importante determinar los problemas y utilidad de los informes, así como también un análisis interno en la empresa para determinar cómo se ve actualmente, los fallos en los informes o información que se da al cliente y con base en ellos establecer lo que debe contener el modelo.
2. Se Propuso una metodología para la toma de decisiones gerenciales soportada en los datos de los informes de gestión mensual de infraestructura IT para los clientes. Como se expresó, el alcance de este trabajo es proponer una metodología mediante una serie de pasos que lleven a la elaboración de informes de utilidad para el usuario, pero más allá de estos informes, que sirva de soporte para toma de decisiones para mejoramiento de los servicios a los clientes. Para ellos se desarrolló una metodología descrita en este documento.
3. Se Diagnosticó el estado actual de aplicaciones y servicios que forman parte de los sistemas de gestión y monitoreo, como lo son Nagios y Business Service Management, los cuales son la materia prima del modelo. Se realizó análisis de como está la estructura tecnológica actual, así como la arquitectura de datos, y con base en ello, un desarrollo de software que servirá para el análisis de datos y generación de informes para soporte en tomas decisiones de La compañía y sus clientes. (Ver Fases 2, 3 y 4 de la metodología en este documento).
4. Se Diseñó el modelo gráfico para visualización de datos. A través de PowerBI se desarrolló una integración de los datos y una presentación gráfica que sirve para visualizar mejor el estado del uso de recursos y, con base en eso, realizar el análisis de resultados. (Ver Fase 6 de la metodología en este documento)

3.1. Levantamiento de información y diagnóstico

Se utilizó como instrumento de medición para hacer levantamiento de información correspondiente a los ítems de: clasificación inicial, nivel de aceptación, entendimiento, aporte del informe y métodos de acceso los cuales permiten identificar las características generales del problema para la formulación de una propuesta metodológica para la toma de decisiones gerenciales en infraestructuras IT, y con ello tener un entendimiento del problema mediante la definición de un formulario o encuesta digital de fácil acceso para los gerentes o jefes de tecnología de las empresas que estarán dentro de la muestra. Se definió como herramienta tecnológica Google Forms, que es una utilidad en Internet para gestión de sondeos a través de formas prediseñadas, la cual permite a los encuestados un acceso intuitivo además de contar con los principios básicos que debe tener un instrumento de medición válido y confiable.

Se elaboró un cuestionario inicial que fue puesto a consideración de tres expertos, conocedores en probabilidad, estadística y metodologías de recolección de información,

esto de forma independiente y de acuerdo con la recomendación de Hernández et al. (2006, p. 566): “*En ciertos estudios es necesaria la opinión de individuos expertos en un tema. Estas muestras son frecuentes en estudios cualitativos y exploratorios para generar hipótesis más precisas o la materia prima del diseño de cuestionarios*”.

De los resultados de este cuestionario se realizará la Fase 1, que es donde, acorde a un diagnóstico y requerimientos iniciales de datos y servicios.

3.2. Desarrollo de la metodología propuesta

Fase 1: Modelado de datos y servicios. Permite tener una visión de la organización, así como conocer los procesos y funciones más representativas, es decir su arquitectura empresarial, de tal forma que los datos identificados son modelados.

Fase 2: Definición de variables. Identificación de los datos que serán objeto de exportación. En este ítem se procede a identificar las variables a nivel general que serán objeto para la generación de los reportes mensuales de los clientes, por tratarse de infraestructura IT, las variables referentes a la disponibilidad son halladas de acuerdo con lo dispuesto por el marco de referencia ITIL.

Fase 3: Extracción e importación de datos. Indica la forma en la que se realiza la extracción de información por medio de las herramientas disponibles para ello, así como los cálculos de disponibilidad de los CI, los datos aquí tratados son la materia prima del modelo y aportan la visual inicial del procedimiento empleado para la obtención de información.

Fase 4: Análisis y estructuración de datos. Definida como la fase central del desarrollo del proyecto, en esta se procede al análisis de los datos que son objeto de presentación en el reporte, así mismo se realiza la estructuración de las variables.

Fase 5: Visualización de información. Se define el diseño del modelo grafico para visualización de datos, haciendo uso de las herramientas disponibles en La compañía.

Fase 6: Evaluación de resultados. Permite conocer los resultados una vez se ha implementado la metodología propuesta. Se muestran los beneficios obtenidos a nivel de clientes y de la organización misma que realiza la implementación, en este caso La compañía.

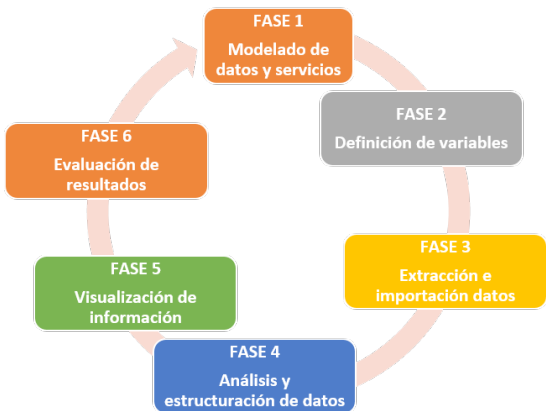


Figura 3 – Fases Propuestas Desarrollo Metodología

3.2.1. FASE 1: Modelado de datos y Servicios

Basados en la información recolectada y en el resultado de la encuesta, en esta fase se desarrollará el modelado estándar para los servicios administrados en uno de los Data Center de La compañía, se tomarán como referencia los clientes encuestados, los cuales cumplen con los parámetros requeridos para el desarrollo de esta investigación. Además, por ser clientes de los diferentes sectores económicos del país sus infraestructuras tecnológicas están constituidas de formas diferentes, lo que permite extraer de ellas los componentes similares o estándar para ser modelados.

3.2.1.1. Modelado de Datos y Servicios

Luego de la evaluación realizada durante el desarrollo del marco teórico de este proyecto, se tomará como marco de referencia para el modelado de los servicios, el marco de referencia denominado TOGAF. *“En términos simples TOGAF es una herramienta para asistir la aceptación, creación, uso y mantenimiento de arquitecturas. TOGAF está basado en un modelo iterativo de procesos apoyado por las mejores prácticas de IT”* (OpenGroup, 2018).

Basados en TOGAF, nos enfocaremos en las fases B, C y D que propone este marco en su ciclo de desarrollo, partiendo de la premisa que el cliente tiene su arquitectura empresarial ya planteada, arquitectura que debe ser entregada a la compañía para acondicionarla, permitiendo así plasmar la Arquitectura de negocio (Servicios), Arquitectura de S.I y Arquitectura tecnológica en el modelo planteado.

Fase B TOGAF (Arquitectura de Negocio)

En esta fase se debe identificar y describir como la empresa opera para lograr los objetivos de negocio y como esta responde ante los conductores estratégicos establecidos. En términos generales se deben identificar los procesos de negocio que hacen que las compañías funcionen día a día. Como ejemplo podemos tomar los procesos de negocio de una compañía de telecomunicaciones. En la siguiente imagen se puede apreciar el ejemplo mencionado.

Fase C TOGAF (Arquitectura de Sistema de Información)

En esta fase se deben identificar los sistemas de información (datos y aplicaciones), por medio de los cuales los procesos de negocio descritos en la fase B se soportan y pueden dirigir y ejecutar sus solicitudes o procesos. Cada aplicación o sistema de información puede ir atado a uno o varios procesos de negocio ya que pueden ser entradas o salidas para los mismos; es de vital importancia para el desarrollo de la metodología, tener identificadas dichas aplicaciones o sistemas de información, ya que, entre mayor detalle del servicio se tenga, la información procesada será más consistente.

Fase D TOGAF (Arquitectura de Tecnología)

Para esta última fase del modelado de los servicios, se debe identificar los componentes tecnológicos físicos y lógicos que soportan la arquitectura de sistemas de información, entre ellos Hardware, software, tecnologías de seguridad y comunicaciones y su correspondiente relación con la arquitectura de sistemas de información.

Cada componente de la plataforma lógica debe estar asociado a la aplicación o sistemas de información que soporta, permitiendo así identificar fácilmente la tecnología asociada; a su vez, la plataforma lógica debe estar asociada a un componente o CI físico en el cual reposa la solución, y el cual será un input para el cálculo de la disponibilidad de los servicios de negocio.

Al finalizar la FASE 1 (Modelado de Datos y Servicios), se debe obtener la visual de los procesos críticos de la compañía, las aplicaciones que los soportan y los componentes lógicos y físicos en donde residen estos servicios, Lo que permitirá tener una vista 360° de la infraestructura tecnológica que soporta la compañía. A continuación, un ejemplo del modelado estándar de la plataforma de IT de un cliente.

Posterior a este levantamiento de información y modelado de los servicios, se procede a crear el mapa de relaciones entre todos los componentes de la arquitectura TI, lo que permite conocer cómo se enlazan las capas físicas, lógicas, sistemas de información y como estos prestan servicios y soportan los procesos de negocio de cada compañía.

En el mapa de relaciones, se puede conocer nivel a nivel cómo interactúan cada uno de los componentes descritos en las fases B, C y D del modelado de servicios. Al ser este un modelo piramidal, que este entrelazado por componentes en capas superiores e inferiores los cuales pueden o no prestar servicios a más de una capa, se evidencia como una falla en un componente, afecta el resultado o funcionamiento de una plataforma lógica, sistemas de Información y por último y más importante el servicio o proceso de negocio que hace uso de estas.

A continuación, se puede observar un ejemplo de un mapa de relaciones que nos permite hacer un zoom sobre cada componente, identificando fácilmente con quien se relaciona y que capa del servicio puede o no afectar lo que redundara en que los procesos de negocio siempre estén disponibles.

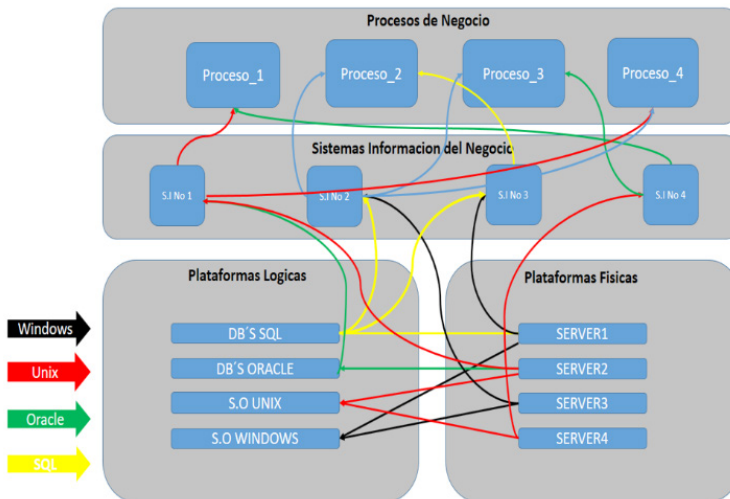


Figura 3 – Mapa de relaciones

3.2.2. FASE 2: Definición de Variables

En esta fase se definen las variables que se tendrán en cuenta para realizar el cálculo de la disponibilidad de los componentes en las capas físicas, lógicas y de Aplicación. Estos datos luego de ser procesados deben reflejar la disponibilidad de los servicios o procesos de negocio. Actualmente, estos datos reposan en las bases de datos propietarias de cada aplicación usada para monitorear dichos componentes.

Basados en ITIL, marco de referencia para servicios IT, se puede definir como disponibilidad según (Axelos Global Best Practice, 2019) *“Al proceso responsable de asegurar que los servicios de TI cumplan con las necesidades actuales y futuras de disponibilidad del negocio de una manera rentable y oportuna. La gestión de disponibilidad define, analiza, planifica, mide y mejora todos los aspectos de la disponibilidad de los servicios de TI, y asegura que todas las infraestructuras de TI, procesos, herramientas y roles sean apropiadas para los objetivos de nivel de servicio acordado para la disponibilidad”*. Actualmente La compañía ofrece a sus clientes una disponibilidad sobre sus plataformas administradas de 99.8% mensual lo que equivale 718.5 horas disponibles al mes con un Downtime de 1.4 mensuales.

3.2.3. FASE 3: Extracción e Importación de Datos

En esta fase se define la forma en que se extraerá la información de las fuentes de datos definidas, para este caso BSM (Business Service Management), que es la herramienta usada por La compañía para almacenar la información de la disponibilidad de cada uno de los componentes que soportan y hacen parte de la infraestructura de los clientes administrados.

3.2.4. FASE 4: Análisis y Estructuración de Datos

Esta es una de las fases importantes del proyecto, ya que el análisis de los datos es la clave en el desarrollo de la metodología para toma de decisiones en plataformas IT. Luego de pasar por las fases de extracción, transformación y carga de datos de las diferentes fuentes de información, en esta fase se realizará el análisis de las variables propuestas y de la data extraída de las fuentes de información seleccionadas, de forma que la data seleccionada luego del análisis nos lleve a conclusiones o posibles predicciones del comportamiento de la infraestructura IT a partir del conjunto de datos seleccionados.

3.2.5 FASE 5: Visualización de Información

Haciendo alusión a la frase “Una imagen dice más que mil palabras”, en especial cuando se trata de relacionar o entender datos, y teniendo en cuenta la cantidad de variables a analizar, las cuales varían dependiendo de la información. Se hace necesario que la visualización de los datos procesados permita rápidamente la identificación de tendencias o valores atípicos, lo que quiere decir que, si al visualizar el modelo se puedan identificar fácilmente estas tendencias o valores. Se concluye que los datos se están mostrando correctamente, ya que la visualización de estos debe contar por sí misma una historia, reduciendo la confusión que genera la acumulación de datos y resaltando la información útil.

Para este proyecto se tomó como herramienta de visualización de datos Power BI herramienta desarrollada por Microsoft y de uso gratuito, la cual permite conexión a las diferentes fuentes de datos de donde se extrae la información y permite de manera interactiva la selección, organización y visualización de los datos. Adicionalmente esta herramienta se encuentra dentro del paquete de servicios ofrecidos por Microsoft a La compañía dentro de su acuerdo de licenciamiento por volumen, lo que permite que no haya limitantes en el desarrollo de la metodología propuesta y su ejecución misma.

3.2.6. FASE 6: Evaluación de Resultados

Siendo esta la última fase de la metodología propuesta para la toma de decisiones gerenciales en infraestructuras IT, a continuación, realizaremos un análisis de los resultados generados con respecto al aporte de valor de La compañía al cliente con la aplicación de la metodología y adicionalmente los efectos positivos que genera está a la compañía al implementarla.

3.2.7. Resultados con Respecto al Cliente

La compañía tiene la obligación contractual con sus clientes respecto a la entrega mensual del reporte de rendimiento y disponibilidad de los equipos de cómputo, bases de datos y aplicaciones administradas, en donde da a conocer el estado y comportamiento de los recursos con los que se cuenta dentro del Data Center. Con la implementación de la metodología propuesta, la compañía brinda un valor agregado a través de los beneficios que genera a estos:

- Recepción oportuna de los informes de gestión, rendimiento y disponibilidad
- Fácil consulta de los informes desde cualquier lugar,
- Visual general de la disponibilidad de la arquitectura tecnológica de una forma gráfica,
- Toma de decisiones gerenciales sobre infraestructura IT

3.2.8. Resultados Adicionales

Durante el desarrollo de la metodología propuesta, y después de garantizar el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto. Se encontraron una serie de resultados o beneficios adicionales que brindaría esta al ser implementada.

- Optimización Tiempos Generación Informes
- Optimización Costos en la Generación Informes

4. Conclusiones

La metodología propuesta para la toma de decisiones gerenciales en plataformas IT, contribuye al cumplimiento en primera instancia de los objetivos estratégicos de cada uno de los clientes de La compañía, a través del aprovechamiento de herramientas tecnológicas con las que actualmente cuenta la organización y el uso de otras que se encuentran incluidas en los convenios establecidos entre La compañía y sus proveedores,

permitiendo responder a las necesidades de los clientes, de manera efectiva y aportando a los objetivos estratégicos de La compañía con lo son Recomendación y Rentabilidad.

Esta metodología está soportada por los marcos de referencias seleccionados en capítulos anteriores, los cuales aportan confianza y seguridad para la implementación de la metodología para toma de decisiones en infraestructura IT; toda vez que son herramientas y marcos con madurez, flexibilidad y son adaptables a las necesidades de cada compañía.

El desarrollo de esta metodología puede extenderse en el tiempo una vez implementada, al manejo de grandes cantidades de información Big Data, Minería de Datos, Inteligencia Artificial, Machine Learning y a mejorar los conceptos de BI aquí planteados, ya que el incremento de datos que circulan por las redes de La compañía y en sus Data Center, son cada día más grandes, al igual que las necesidades y requerimientos de sus clientes y de la compañía en sí. Nada mejor que estar adelante de las necesidades del mercado y conocer lo que los clientes van a necesitar a futuro, lo que le permitirá a La compañía seguirse manteniendo como una de las empresas dominantes en el Sector de las tecnologías en Colombia.

Referencias

- Alavi, A. H., Jiao, P., Buttler, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 129(December 2017), 589–606. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.067>
- Andrew Josey. (2013). TOGAF 9.1 GUÍA DE BOLSILLO. Reino Unido: Van Haren
- Bondar, S., Hsu, J. C., Pfouga, A., & Stjepandić, J. (2017). Agile digital transformation of System-of-Systems architecture models using Zachman framework. *Journal of Industrial Information Integration*, 7, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.03.001>
- Goepp, V., & Petit, M. (2017). Insight from a comparison of TOGAF ADM and SAM alignment processes. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 11707–11712. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1693>
- Gómez, G. I. L., Serna, A., Dario, M., & Francisco, R. (2010). Evolution and Trends of Information Systems for Business Management : the M Business . a Review Evolución Y Tendencias De Los Sistemas De Información Para La Gestión En La Empresa : El M Business.
- Gong, Y., & Janssen, M. (2019). The value of and myths about enterprise architecture. *International Journal of Information Management*, 46(November 2018), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.006>
- Joyanes Aguilar, L. (2015). *Sistemas de Información en la Empresa: El impacto de la Nube, la movilidad y los medios sociales*. Mexico: Alfaomega.
- Joyanes, L. (2013). *Big data - Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. Mexico D.F: Alfaomega.

- Lapalme, J., Gerber, A., Van Der Merwe, A., Zachman, J., Vries, M. De, & Hinkelmann, K. (2016). Exploring the future of enterprise architecture: A Zachman perspective. *Computers in Industry*, 79, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.06.010>
- Maldonado, A. &. (2006). *Un Método para definir la Arquitectura de Procesos*. Acapulco: Mexico
- Marques, P., Manfroí, D., Deitos, E., Cegoni, J., Castilhos, R., Rochol, J., ... Kunst, R. (2019). An IoT-based smart cities infrastructure architecture applied to a waste management scenario. *Ad Hoc Networks*, 87, 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.12.009>
- OpenGroup. (16 de Abril de 2018). An Introduction To The Togaf Version 9.2. Obtenido de <https://www.opengroup.org/togaf>
- Portocarrero, H. I. (2017). *Servicios TI en InterCorp*. Perú
- Shanks, G., Gloet, M., Asadi Someh, I., Frampton, K., & Tamm, T. (2018). Achieving benefits with enterprise architecture. *The Journal of Strategic Information Systems*, 27(2), 139–156. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.03.001>
- Thönssen, B., & Von Dewitz, M. (2018). A label is not enough - Approach for an enterprise architecture role description framework. *Procedia Computer Science*, 138, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.058>
- Togaf. (2013). *Togaf 9.1 Guía de Bolsillo*. Reino Unido: Van Haren Publishing Zaltbommel.
- Valle, U., Albarracín, G., Edgar, J., & Valle, U. (2014). *Tecnologías de información y comunicación , e innovación en las MIPYMES de Colombia* *Information and Communication Technologies and Innovation in MSMEs in Colombia* Resumen Résumé.
- van den Berg, M., Slot, R., van Steenberg, M., Faasse, P., & van Vliet, H. (2019). How enterprise architecture improves the quality of IT investment decisions. *Journal of Systems and Software*, 152, 134–150. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.02.053>
- Zachman, J. A. (2008). *Zachman.com*. Obtenido de <https://www.zachman.com/about-the-zachman-framework>

Aplicação das Tecnologias de Interação Natural, Virtualidade e Transparência ao Tratamento de Traumas Causados pela Violência: um Estudo de Caso

Rosa A.S.M. da Motta¹, Altemar Sales de Oliveira², Saulo B. de Oliveira³, Viviane F. do Nascimento⁴, Gerson G. Cunha⁵, Sandro Luis F. de C. Silva⁶

rasmmel@gmail.com, altemarsales@gmail.com, saulobarbara@gmail.com, vivifn76@hotmail.com, gersoncunha@yahoo.com.br, sandrofreire@gmail.com

^{1,3}Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)-Departamento de Administração Pública (DAP), Rio de Janeiro, 20541000, Brasil

²Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro (FAETERJ-Paracambi), Rio de Janeiro, 26600-000, Brasil

⁴Clínica no Espaço Plenamente, Rio de Janeiro, 23080-000, Brasil

⁵Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LAMCE/UFRJ), Rio de Janeiro, 21941-590, Brasil

⁶Instituto Nacional de Câncer José de Alencar Gomes da Silva (INCA), Rio de Janeiro, 20220-250, Brasil

Pages: 921–933

Resumo: Os recursos da tecnologia da informação vêm sendo empregados para tratar diversos distúrbios mentais. Este artigo aborda uma aplicação baseada em interação natural, virtualidade e transparência bilateral para dar suporte ao tratamento de traumas da violência. Para a modelagem dessa aplicação, foi efetuado o levantamento das necessidades e problemas relacionados junto a psicoterapeutas e na literatura, recorrendo a técnicas de pesquisa de campo, do tipo exploratória, qualitativa e quantitativa e ao estudo de caso. Para o tratamento dos dados qualitativos foi usada a técnica análise do conteúdo. A validação do protótipo foi feita com base nos critérios inerentes à funcionalidade, usabilidade, virtualidade e à interação natural. O foco deste trabalho está nos resultados sobre a virtualidade e a interação natural. De um modo geral, os resultados apontaram que os profissionais envolvidos são favoráveis aos recursos implementados para a experimentação realizada.

Palavras-chave: Transtorno de Estresse Pós-traumático; Dessensibilização e Reprocessamento por Movimentos Oculares; Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Transparência dos dois lados.

Application of Natural Interaction Technologies, Virtuality and transparency to the Trauma Treatment Caused by Violence: a Case Study

Abstract: Information technology resources have been used to treat various mental disorders. This paper addresses an application based on natural interaction, virtuality and bilateral transparency to support the treatment of trauma from violence. For the modeling of this application, the needs and problems related to psychotherapists and the literature were surveyed, using field research techniques, exploratory, qualitative and quantitative and case study. For the treatment of qualitative data, the technique of content analysis was used. The prototype validation was based on the criteria inherent to functionality, usability, virtuality and natural interaction. The focus of this work is on the results on virtuality and natural interaction. In general, the results showed that the professionals involved are favorable to the resources implemented for the experimentation performed.

Keywords: Eye Movement Desensitization and Reprocessing; Posttraumatic Stress Disorder; Virtual reality; Augmented Reality; Transparency on both sides.

1. Introdução

A inovação tem sido um desafio permanente para todas as áreas, independentemente do ramo de negócio ou setor ou de atividade (Carvalho, Abreu & Rocha, 2017). Os recursos da tecnologia da informação vêm sendo empregados para tratar diversos distúrbios mentais. No Brasil, as estatísticas divulgadas são preocupantes em relação a acidentes de trânsito, violência sexual e roubos (FBSP, 2016). A violência tornou-se um problema de saúde pública, ocasionando o Transtorno de Estresse Pós-Traumático – TEPT (Mari, Mello, & Figueira, 2008; Nórte, 2015) numa quantidade cada vez maior de indivíduos. A realidade virtual e aumentada (RV e RA) são utilizadas para tratar de vários distúrbios mentais (Eichenberg & Wolters, 2012). Dentre as abordagens terapêuticas incluídas como tratamento da categoria A para TEPT (De Angelis, 2008), está a dessensibilização e reprocessamento por movimentos oculares (EMDR, sigla em inglês), considerada eficiente para tratar o TEPT (Shapiro & Laub, 2015). Diversos estudos descrevem experiências com TERV, uma combinação de terapia cognitiva comportamental (TCC) com RV para tratar o TEPT (Wiederhold & Wiederhold, 2010). A RA, por sua vez, é usada para tratar fobias (Cossío & Cossío, 2012), mas não associada a EMDR. A interação homem-computador vem adotando interfaces mais naturais em decorrência da evolução da Computação Ubíqua (UC, sigla em inglês), incluindo tendências à transparência dos dois lados (Myers, Hudson, & Pausch, 2000; Nabil & Ghalwash, 2013). Juntam-se a isto estudos sobre possíveis dificuldades e problemas durante o protocolo EMDR. O psicoterapeuta necessita de estimular a imaginação e a concentração do paciente, empregando relaxamento, autorregulação, fortalecimento do ego (recursos positivos). O processo EMDR torna-se difícil ou inviável se o paciente tiver dificuldades em se autorregular (Shapiro, 2001). As aplicações disponíveis para apoiar a EMDR ainda estão baseadas em imagens em duas dimensões, sem opções que favoreçam ao paciente em sentir uma sensação mais real. O profissional que usa o EMDR, em grande parte, ainda se vale de papel e pranchetas para as anotações, ficando a sua atenção está dividida entre o paciente e a anotação de informações, acarretando fadiga e cansaço das mãos e dedos após várias aplicações da estimulação bilateral, que é de preferência, visual, abordada adiante. Como de costume, em geral, a decoração natural de consultório tradicional é conservadora, e não *High-tech*, ainda com psicoterapeuta e paciente, cada qual em sua poltrona. E, é relatada dificuldade dos terapeutas na produção de relatórios de acompanhamento do paciente (Motta, 2017).

Diante desse contexto, neste trabalho é abordada uma proposta de solução computacional que possibilita a integração de recursos RV e RA, interação natural, englobando multitoques e transparência dois lados, empregados no processo EMDR, a fim de tratar o TEPT causado por acidentes de veículos em trânsito, de assaltos e de violência sexual. A modelagem dessa solução foi fundamentada nas necessidades, dificuldades e no ponto de vista de psicoterapeutas em suas atividades cotidianas em consultórios.

Este artigo contém, além desta introdução, os fundamentos teóricos, os procedimentos metodológicos realizados, uma descrição da proposta, os resultados e as conclusões, contribuições e perspectivas futuras, fornecendo uma visão geral da solução modelada e, em detalhes, os aspectos relativos à RV, RA e interação natural.

2. Fundamentação Teórica

Um indivíduo, que sofre de TEPT, comportasse e sente como se o evento traumático ainda estivesse ocorrendo e revive, continuamente, a experiência do trauma, podendo afastar-se da vida diária normal. Ele sente mal-estar psicológico intenso perante algo ou local, que o faça lembrar o evento, evitando-os (evitamento). Não demonstra emoções (embotamento).

Suas expectativas ou desejo de futuro são encurtadas e seus interesses e afetos tendem a ser diminuídos, apresentando, muitas vezes, incapacidade de lembrar de detalhes importantes do trauma (Cavalcante, Morita, & Haddad, 2009). O protocolo EMDR, eficiente para tratar o TEPT causado pela violência, tem base no modelo adaptativo de processamento de informações (sigla AIP em inglês). Segundo esse modelo, há um sistema adaptativo de informações no cérebro das pessoas e uma rede de informações armazenadas, em que novas informações são processadas e podem derivar em aprendizagem, alívio emocional e uma nova rede neuronal global com a nova informação, durante o sono Rapid Eye Movement (“movimento rápido dos olhos”) ou REM. A informação contém imagem, crenças, emoções e sensações corporais.

Nesse modelo, é possível que os Estímulos Bilaterais (EB) façam efeito análogo ao processamento REM, quando um novo material do inconsciente brota para ser processado e onde a imagem assume papel significativo. São partes do protocolo EMDR as fases, os componentes básicos, os recursos de desenvolvimento e instalação (RDI), as EB e a imagética (Shapiro, 2001, 2014). A técnica imagética é essencial para aplicação do EMDR (Leeds, 2009), requerendo o domínio na sua aplicação, de modo a conduzir o paciente a construir ou acessar imagens (Shapiro, 2001). Os recursos simbólicos ou visuais, isto é, a imagem do trauma, a metáfora, o lugar seguro (LS) e o futuro desejado (FD), fazem parte do RDI. Há três formas de estimulações básicas que podem ser combinadas para o tratamento. A mais comum é a visual (Motta, 2017; Shapiro, 2001). Na EB visual, os padrões de movimento são, por exemplo, o horizontal da direita para a esquerda ou o da esquerda para direita, que pode ser visualizada na parte a da Figura 3, permitindo ajustar velocidade, intensidade, repetição e objeto de estimulação (dedos). O protocolo contém oito fases e depende dos componentes básicos, com especialidade da imagem ou dos recursos visuais para acontecerem, além dos elementos da informação já citados e as escalas para medição.

Há diversos estudos que relatam o emprego de RV no favorecimento da imaginação em tratamentos de TEPT, que é tão importante, podendo ser mais explorada no processo EMDR (Kirmayer, 2006). RV ocorre quando uma pessoa, inserida no mundo virtual, interage com um objeto real (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1995). Enquanto a grande parte dos estudos usa RV com TCC, para reviver o trauma de forma mais realística e, então, tratá-lo (Wiederhold & Wiederhold, 2010), a RA, que possibilita ao paciente no ambiente real interagir com um objeto virtual, é associada à TCC para tratar fobias (Bretón-López *et al.*, 2010).

As soluções automatizadas existentes e recursos, propostas de apoio ao EMDR, não somente almejam favorecer a imaginação e o fornecimento de recursos visuais, mas também dar suporte à gestão do protocolo em termos da execução da EB (Dr. Miller's Guided Imagery & Meditation CDs, [n.d.]; Neuro Innovations, 2019). Porém, elas ainda usam imagens e vídeos 2D, não explorando os recursos da RCV (RV e RA) e imagens ou DVDs 3D, tentando tornar as experiências do paciente mais próximas da realidade, estimulando a imaginação e a concentração. Além disso, a interação homem-computador (UC) está aquém do que poderia, pois não inclui novos dispositivos e técnicas de interação para interfaces NUI (sigla em inglês para interação natural com o usuário), que são um tipo de interface sem meios tradicionais de interação com computador, avançando para equipamentos *multitouch* onipresentes (Nabil & Ghalwash, 2013). Tornando o computador mais invisível, fazendo as interfaces entre pessoas e computadores ganharem uma “aparência” mais natural, sem o uso de dispositivos que precisem ser aprendidos.

NUI é útil quando a maior parte da atenção e memória de trabalho do usuário devem estar dedicada à tarefa principal (Myers *et al.*, 2000). Estudos sobre NUI, como o de Koppellhuber & Bimber (2013), evidenciam a praticidade e naturalidade das interações em superfícies transparentes dos dois lados, mas não contempla a questão da “invisibilidade” da UC. Certos aplicativos EMDR (Neuro Innovations, 2019; Neurolateral EMDR Technology, [n.d.]), são executados em plataforma móvel, com interações multitoque, mas sem transparência dois lados. E, não oferecem recursos e etapas usadas durante o EMDR, podendo gerar relatórios de acompanhamento, indicados como necessários em Motta (2017).

3. Procedimentos Metodológicos e Ferramentas

Este trabalho é considerado de campo, uma pesquisa exploratória (Santos, 2002), quantitativa e qualitativa (Chizzotti, 2006) e um estudo de caso (Yin, 2015). O cenário consiste nos consultórios dos psicoterapeutas EMDR, constituídos por escritórios decorados a fim de formar um ambiente agradável e aconchegante para os usuários. Os sujeitos da pesquisa foram profissionais voluntários, da área da Psicologia, habilitados para aplicar EMDR no Brasil, formados pela Associação Brasileira de EMDR. Um dentre 7 psicoterapeutas pesquisados recebeu formação tecnológica aplicada a distúrbios mentais (Motta, 2017).

Sete profissionais participaram do levantamento das necessidades para desenvolvimento do protótipo da aplicação produzida e cinco profissionais aceitaram participar da dinâmica de interação com o protótipo, tendo, ao final, respondido aos questionamentos para validá-la. Nos dois casos, usou-se um questionário com questões fechadas e abertas.

O questionário, tipo de instrumento indicado por Pressman (2011) para realização do levantamento de requisitos, foi elaborado, com base em Günther (2003), com trinta e nove questões, incluindo partes sobre: o perfil profissional dos sujeitos, modo de aplicar EMDR, dificuldades ou problemas encontrados pelos psicoterapeutas durante a aplicação do EMDR e as possibilidades de uso da tecnologia computacional como apoio na prática EMDR. A parte sobre “dificuldades ou problemas” foram pautadas na literatura estudada e na observação de cenários e situações reais em que acontecem as aplicações.

O instrumento de validação, por sua vez, foi preparado para abordar as categorias funcionalidade, usabilidade, virtualidade (relativos à RV e RA) e naturalidade (relacionados à NUI), contendo vinte e cinco questões abertas e fechadas. As fechadas contêm um quadro composto de uma coluna de atributos de qualidade escolhidos com base na literatura (Jung, 2007; Pressman, 2011; Baños *et al.*, 2004; Bretón-López *et al.*, 2010; Lessiter, Freeman, Keogh, & Davidoff, 2001); e nas particularidades inovadoras multimodais (Wechsung, 2014) deste estudo. A pouca disponibilidade dos participantes voluntários também foi considerada. Os respondentes tiveram que atribuir um conceito numa escala (Likert, 1967) de um a cinco (5=excelente; 4=muito bom; 3=regular; 2=ruim; 1=insuficiente) para tais atributos. As pontuações 5 e 4 são consideradas como favoráveis, e os valores 1 e 2, desfavoráveis.

A terceira categoria consiste na capacidade de favorecer à imaginação usando recursos voltados à virtualidade contínua (Olmedo, 2013). Nesse caso, o respondente pontuou a sua percepção sobre o favorecimento ao senso de presença, ao julgamento de realidade e envolvimento emocional (Baños *et al.*, 2004). A quarta refere-se ao quão natural a interação entre computador e ser humano se mostra dentro do ambiente de consultório, propiciando que o psicoterapeuta foque na sua tarefa principal, e os equipamentos não “agridam a naturalidade” da decoração do compartimento, contemplando o conceito de UC. As três últimas questões são abertas, a fim de que os participantes escrevessem pontos fracos e fortes da solução e outras percepções, sugestões ou comentários (Nielsen, 1994, 2012). Para tratar e analisar os dados quantitativos foram usadas representações numéricas, tendo sido preparadas tabelas para, posteriormente, delinear conclusões. Na interpretação das questões abertas empregou-se a técnica de análise de conteúdo (Bardin, 2014). Nesse caso foi realizada a categorização das frases ou parágrafos, relativos às características melhores, piores e comentários e sugestões, considerando-se as mesmas categorias ou atributos usados na organização das questões fechadas.

4. A Aplicação NaturalEMDR3DS: Breve Panorama

Permitindo o acompanhamento do paciente por meio de relatórios, a aplicação NaturalEMDR3DS (Motta, 2017) integra as fases, recursos visuais e dispositivos relativos ao protocolo EMDR.

Propicia interação natural (aspecto naturalidade) por meio de uma prancheta multitoques com transparência dos dois lados, que pode ser visualizada na parte d da Figura 3, de dispositivos afixados no braço do consultório tradicional e torna disponível a gravação das falas do paciente, valendo-se do conceito de NUI. Oferece a possibilidade da aplicação de recursos positivos e a estimulação da imaginação e concentração do

paciente, por meio de vídeos 3D e conceitos de RV e RA (virtualidade), objetivando favorecer a sensação de “estar lá” e de realidade, bem como o envolvimento emocional do paciente (Motta, 2017).

A técnica *Unified Modeling Language* – UML (Pressman, 2011) foi empregada para desenvolver o protótipo da primeira aproximação da solução em foco, com programação nos ambientes Delphi, Visual Studio e UNITY 3D. Escolheu-se o Kinect da Microsoft e o Arduino na versão Uno R3 para suporte à UC (McRoberts, 2015). Optou-se pelo projetor de bolso Philips PPX2340, por massageador com cabo USB e por um gamepad, que podem ser visualizados, respectivamente, na parte *a* da Figura 3 e na parte *b* da Figura 1. O teste foi realizado numa televisão de 42” usando óculos 3D do tipo passivo, nos casos da visualização com estereoscópica (Motta, 2017). Neste trabalho, escolheu-se abordar, em detalhes, as funcionalidades relacionadas ao oferecimento de recursos baseados em NUI, RV e RA, conforme expostos nas seções a seguir.

4.1. Naturalidade com Prancheta Multitoques Transparente

Para evitar que a atenção do profissional fique dividida entre digitar ou anotar e prestar atenção no paciente, o protótipo da aplicação NaturalEMDR3DS torna material uma alternativa de solução com interface natural, que favorece a relação entre paciente e psicoterapeuta, por meio de uma prancheta digital multitoque transparente dos dois lados (película flexível do tipo *touchscreens* resistiva, afixada sobre uma película de retroprojeção transparente translúcida) para gravação da fala do paciente. Dessa forma, a interação entre paciente e psicoterapeuta pode continuar com a aparência tradicional de consultório que pode ser visualizada na parte *a* da Figura 1.

4.2. Metáforas usando Realidade Aumentada

As metáforas, recursos positivos do RDI, são usadas para ensinar o paciente a autorregular-se em momentos de estresse emocional (Shapiro, 2001) e sobre o protocolo EMDR. O protótipo da aplicação NaturalEMDR3DS oferece, dentre outras, a metáfora do filme ou do cinema. Os psicoterapeutas devem lembrar o paciente de que os aspectos do evento traumático podem ser observados e controlados, de forma análoga a um filme visualizado numa televisão ou tela, usando-se um controle remoto. Nesse caso, a RA pode favorecer a sensação de realidade, de “estar lá” e o envolvimento emocional do paciente.

Usando a aplicação, o psicoterapeuta pode proporcionar ao paciente o recurso implementado com RA, permitindo a visualização de poltronas de um cinema, filme projetado, todos virtuais, e interagir com o filme por meio de botões reais localizados na poltrona real (Figura 1), no ambiente real do consultório em frente a uma TV (parte *a* da Figura 1). Pressionando esses botões (parte *b* da Figura 1), o paciente controla o filme (vídeo), representante do evento traumático, tendo a sensação real de distanciamento (parte *b* da Figura 1), que é importante durante o protocolo EMDR. Utilizou-se programação em C#, Kinect e o Arduino (Motta, 2017). O filme é virtualmente visualizado, como se o paciente estivesse sentado na poltrona de um cinema. O cinema virtual completo é trazido para o seu redor; para a realidade do consultório (parte *c* da Figura 1).



Figura 1 – a) Paciente sentado num consultório em frente a uma TV (ambiente real). b) O paciente está controlando o filme (vídeo), que representa evento traumático dele, por meio de um dispositivo afixado no braço da poltrona do consultório. c) O cinema virtual completo é trazido à realidade do consultório. d) prancheta digital multitoque sendo usada.

4.3. Lugar Seguro (LS) e Futuro Desejado (FD) com Realidade Virtual

No protocolo EMDR (fase de preparação), o psicoterapeuta, por meio da imagética, conduz o paciente a construir o seu LS, que é a imagem de um lugar que o paciente deve ter em mente para relaxar em momentos de estresse. A construção e a instalação do LS acontecem por meio da estimulação bilateral (Seção 4.4) e são essenciais para relaxamento e a auto regulação do paciente, sem os quais ele não conseguirá ir adiante com EMDR (Shapiro, 2001). Dentre uma lista de cenários oferecidos pela aplicação NaturalEMDR3DS (Motta, 2017), o paciente pode interagir com o LS escolhido, por meio de botões existentes no braço da poltrona em que está sentado (parte b da Figura 1) e usando óculos 3D. Por exemplo, pode ser com o cenário virtual de uma ilha, com um riacho, coqueiros e uma ponte (parte a da Figura 2). A ideia é propiciar a sensação de “estar lá” nesse lugar realmente com uma interação o mais natural possível. Para realizar a instalação do LS, o psicoterapeuta pode ativar a EB (Seção 4.4).



Figura 2 – a) Instalação do lugar seguro (visualização estereoscópica sem os óculos 3D) executada na TV. b) Instalação do futuro desejado

Um indivíduo com TEPT tem as expectativas de futuro encurtadas e fobias associadas, fugindo de ambientes que lembrem o trauma. Uma imagem de um estado ou situação objetiva e positiva de auto futuro, um FD, pode ser incluído como RDI, e “instalado” pelo psicoterapeuta (Shapiro, 2001), usando o NaturalEMDR3DS. Na fase inicial, história clínica, após o paciente descrever um FD, o psicoterapeuta exhibe os cenários virtuais que poderiam representar o FD do paciente e faz a associação entre o paciente e o FD selecionado. Um paciente com TEPT causado por assalto pode desejar apenas imaginar estar num ponto de ônibus vendo um ônibus passando (parte *b* da Figura 2). É possível que crenças positivas sejam escolhidas e visualizadas juntamente com o cenário, uma de cada vez. Na fase de reavaliação, o paciente interage com esse cenário por meio de dispositivo encontrado no braço de sua poltrona ou cadeira, usando os óculos 3D do tipo passivo; e, em seguida, o psicoterapeuta parametriza e dispara o reproprocessamento ou EB (Seção 4.4). Uma projeção de futuro pode estar relacionada a várias crenças positivas. As crenças podem variar, mantendo-se o cenário virtual. “Estou imprestável para a vida” é um exemplo de crença negativa. A positiva desejada é a crença que o paciente quer ter de si mesmo. Um exemplo é “Vou vencer” ou “Vou conseguir ir para o ponto do ônibus”. Identificar uma cognição positiva desejada implica em definir uma direção para o tratamento, para estimular, de forma apropriada, as redes neuronais alternativas. Como alternativa tanto para interação com o LS e FD, substituindo a TV com suporte 3D, foi preparado um *cardboard*, óculos da Google. Nesse caso, um celular foi usado na montagem (Motta, 2017).

4.4. Visualização da Cena Perturbadora e EB usando Vídeos 3D

Durante a “instalação” do LS, do FD e, também, na fase de dessensibilização, a EB é usada. O psicoterapeuta, para proceder à dessensibilização usando o NaturalEMDR3DS, seleciona os parâmetros comuns da EB (velocidade ou intensidade, tipo de estimulação, objeto da estimulação – os dois dedos ou outros – e padrões de movimentos), a crença negativa a ser trabalhada, dentre as crenças já associadas ao paciente, e o vídeo 3D que representa a cena perturbadora relativa ao trauma.

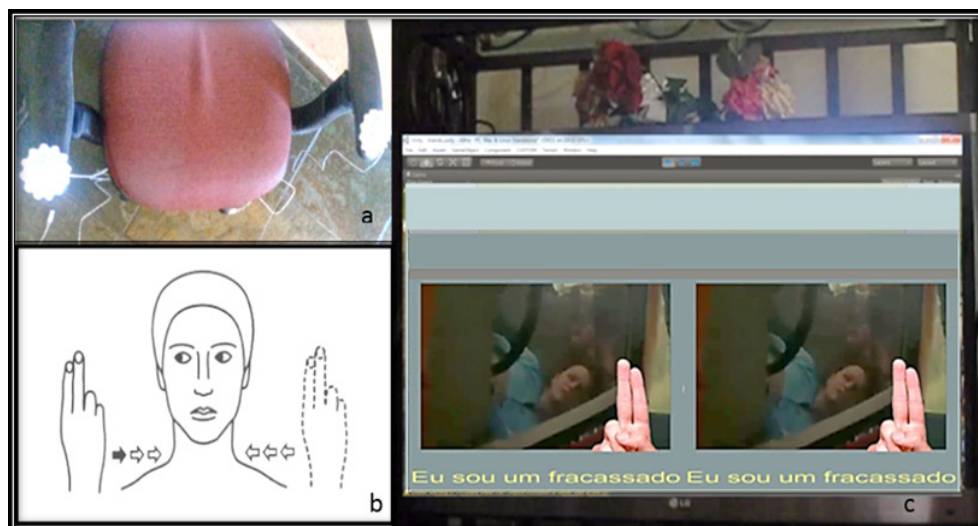


Figura 3 – a) poltrona com recurso p/ EB tátil. b) forma EB visual. c) Vídeo 3D para dessensibilização

Essa cena pode ser, por exemplo, a de um acidente de trânsito (parte **c** da Figura 3). O paciente permanece concentrado nesses elementos, enquanto simultaneamente move os olhos de um lado para outro, durante 15 segundos ou mais (parte **b** da Figura 3), podendo também serem utilizados outros estímulos “*dual-attention*” como a estimulação tátil e a auditiva (Shapiro, 2001).

5. Resultados

Apesar de terem sido consideradas outras categorias de qualidade na validação do NaturalEMDR3DS na pesquisa realizada, este trabalho apresentou somente os resultados baseados nos dados qualitativos e quantitativos sobre a virtualidade e a naturalidade. Sobre a **virtualidade**, 4 dos respondentes sinalizaram respostas favoráveis quanto à *qualidade das imagens do mundo virtual* para o LS. Todos os entrevistados mostraram-se satisfeitos com a qualidade da metáfora do cinema, da cena perturbadora, sendo que ao futuro desejado, 3 dos envolvidos atribuíram conceitos favoráveis; valendo a pena observar que nenhum participante assinalou o conceito *Insuficiente*. A maioria, 4 dos cinco participantes, demonstrou satisfação com todos os recursos da virtualidade abordados em relação às subcategorias: *favorecer o sentimento de estar lá, favorecer o envolvimento emocional, o quanto a experiência no mundo real parece real e o quanto os recursos da virtualidade favorecem o tratamento*. É possível ratificar esse resultado positivo, com base nas respostas das questões abertas, cujas declarações indicam uma quantidade inexpressiva de pontuações negativas para a virtualidade.

É interessante notar que, quando se trata do registro das melhores características, a virtualidade é mencionada positivamente pela grande parte dos participantes. Sendo que a crítica manifestada por um dos entrevistados no caso do registro das piores

características, levou-se a considerar a mudança da modelagem da imagem da ilha usada para LS visualizada com os óculos do tipo Cardboard. Outra modificação a ser realizada no futuro baseia-se em outra crítica feita por um dos participantes em relação a aparência “deprimida” da personagem do cenário virtual para o FD. E, as sugestões revelaram a aceitabilidade por partes dos participantes do uso de recursos da virtualidade quando se trata de metáforas, LS e FD, como é o caso da criação de uma caixinha imaginária virtual como recurso a ser usado para relaxamento no final ou fechamento de sessões, aonde o paciente pusesse guardar manchas coloridas ou bolinhas lá ou quaisquer outros elementos, significando que todo o incômodo estaria guardado ali até a próxima sessão. Outra consiste no uso desses recursos para tratamento de fobias associadas ao TEPT como medo de dirigir e de viajar de avião. Dois participantes sugeriram que seria melhor focar somente nos recursos positivos, ou seja, em suporte às metáforas, LS, instalação de crenças positivas, FD e em relaxamento.

Em termos da **Naturalidade**, a maior parte, 4 dos psicoterapeutas, mostrou-se satisfeita em relação à interação por meio do braço da poltrona, com o quanto o uso da prancheta pode manter o ambiente natural e com a redução do esforço da atenção dividida entre anotar informações e focar no paciente. Sendo que neste último caso, dentre as respostas favoráveis, o conceito excelente foi o mais selecionado. Nesse caso, as sugestões reforçam a aceitação dos recursos usados. Um exemplo disso é a fala de um dos entrevistados, sugerindo que o NaturalEMDR3DS disponibilizasse a transcrição e a gravação das falas durante toda a consulta, para posteriormente proceder à transcrição de toda seção em papel, construindo um relato para ser lido antes da próxima sessão.

6. Conclusões

Este trabalho abordou o projeto de validação de uma aplicação, denominada NaturalEMDR3DS, para apoiar o tratamento de traumas da violência, com base nas necessidades e dificuldades dos especialistas durante o uso do protocolo EMDR. Depois da dinâmica de interação com o protótipo implementado, foi coletada a percepção dos psicoterapeutas. A análise dos dados quantitativos e qualitativos revelou a satisfação dos profissionais consultados com relação aos recursos relativos aos atributos virtualidade e naturalidade. Entende-se que o estudo também colaborou para que os psicoterapeutas tivessem a oportunidade de refletir e discutir sobre as possibilidades de recursos computacionais para dar suporte ao EMDR. Dentre as perspectivas futuras, almeja-se aumentar o número de respondentes e realizar melhorias a partir das críticas e sugestões apontadas.

Referências

- Federação Brasileira Segurança Pública (FBSP). (2016). *Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2016*, 10. Recuperado de: http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2017/01/Anuario_Site_27-01-2017-RETIFICADO.pdf
- Baños, R. M., Botella, C., Alcañiz, M., Liaño, V., Guerrero, B., & Rey, B. (2004). Immersion and emotion: Their impact on the sense of presence. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 7(6), 734–741. <https://doi.org/10.1089/cpb.2004.7.734>

- Bardin, L. (2014). *Análise de Conteúdo*. Recuperado de: http://www.almedina.net/catalog/product_info.php?products_id=4337
- Bretón-López, J., Quero, S., Botella, C., García-Palacios, A., Baños, R. M., & Alcañiz, M. (2010). An Augmented Reality System Validation for the Treatment of Cockroach Phobia. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(6), 705–710. <https://doi.org/10.1089/cyber.2009.0170>
- Cavalcante, F. G., Morita, P. A., & Haddad, S. R. (2009). Invisible sequels of traffic accident: The post-traumatic stress disorder as a public health problem. *Ciência & Saúde Coletiva*, 14(5), 1763–1772. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232009000500017>
- Carvalho, João Vidal, Abreu, António & Rocha, Álvaro. (2017). Metodologias e aplicações inovadoras em Sistemas e Tecnologias de Informação (STI). RISTI, Dez 2017, no.25, p.ix-xi. ISSN 1646-9895.
- Chizzotti, A. (2006). *Pesquisa em ciências humanas e sociais* (3a ed). São Paulo: Cortez.
- Cossío, G. P., & Cossío, G. P. (2012). Use of Virtual Reality Systems and Augmented Reality for Visualizing Acrophobic Environments. Recuperado de: http://www.iaeng.org/publication/WCECS2012/WCECS2012_pp685-687.pdf
- De Angelis, T. (2008). PTSD treatments grow in evidence, effectiveness. Recuperado de: <http://www.apa.org/monitor/jano8/ptsd.aspx>
- Dr. Miller's Guided Imagery & Meditation CDs, Dvd., MP3s. (n.d.). *Dr. Miller's Guided Imagery & Meditation CDs, MP3s, Books for Stress Management, Anxiety Relief, Insomnia Treatment, Weight Loss & more*. Recuperado de: <http://drmiller.pinnaclecart.com/>
- Eichenberg, C., & Wolters, C. (2012). Virtual Realities in the Treatment of Mental Disorders: A Review of the Current State of Research. In C. Eichenberg (Org.), *Virtual Reality in Psychological, Medical and Pedagogical Applications*. Recuperado de: <http://www.intechopen.com/books/virtual-reality-in-psychological-medical-and-pedagogical-applications/virtual-realities-in-the-treatment-of-mental-disorders-a-review-of-the-current-state-of-research>
- Fórum Brasileiro de Segurança Pública . (2018). *Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2018*, (10a ed). Recuperado de: http://www.forumseguranca.org.br/wp-content/uploads/2017/01/Anuario_Site_27-01-2017-RETIFICADO.pdf
- Günther, H. (2003). *Como elaborar um questionário*. Brasília. Brasília, DF: UnB.
- Jung, H.-W. (2007). Validating the external quality subcharacteristics of software products according to ISO/IEC 9126. *Computer Standards & Interfaces*, 29(6), 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2007.03.004>
- Kirmayer, L. J. (2006). Toward a Medicine of the Imagination. *New literary history*, 37(3), 583–601.
- Koppelhuber, A., & Bimber, O. (2013). Towards a transparent, flexible, scalable and disposable image sensor using thin-film luminescent concentrators. *Optics Express*, 21(4), 4796–4810. <https://doi.org/10.1364/OE.21.004796>

- Leeds, A. M. (2009). Resources in EMDR and Other Trauma-Focused Psychotherapy: A Review. *Journal of EMDR Practice and Research*, 3(3), 152–160. <https://doi.org/10.1891/1933-3196.3.3.152>
- Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., & Davidoff, J. (2001). A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 282–297. <https://doi.org/10.1162/105474601300343612>
- Likert, R. (1967). *The Human Organization: Its Management and Value*. USA: McGraw-Hill.
- Mari, J. de J., Mello, M. F. de, & Figueira, I. (2008). The impact of urban violence on mental health. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 30(3), 183–184.
- McRoberts, Michael. (2015). *Arduino Básico*. (3a ed). Novatec.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. 2351, 282–292.
- Motta, Rosa A. S. M. da. (2017). *Dessensibilização e Reprocessamento por Movimentos Oculares Baseada em Interface Natural, Transparência e Virtualidade Para Tratamento do Estresse Pós-Traumático*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro). Recuperado de: <http://www.cos.ufrj.br/uploadfile/publicacao/2765.pdf>
- Myers, B., Hudson, S. E., & Pausch, R. (2000). Past, Present and Future of User Interface Software Tools. *ACM Transactions On Computer-Human Interaction*, 7, 3–28.
- Nabil, S., & Ghalwash, A. (2013). Perspectives and Application of OUI Framework with SMaG Interaction Model. In M. J. O'Grady, H. Vahdat-Nejad, K.-H. Wolf, M. Dragone, J. Ye, C. Röcker, & G. O'Hare (Orgs.), *Evolving Ambient Intelligence* (p. 283–295). Recuperado de: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-04406-4_29
- Neuro Innovations. (2019). EMDR Multi Pro. Recuperado de: http://www.neuroinnovations.com/shop/software.html#vEMDR_Multi_Pro_Mac
- Neurolateral EMDR Technology. ([n.d.]). Neurolateral EMDR Software and Hardware System! Recuperado de: <http://www.neurolateral.com/software.htm>
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Elsevier.
- Nielsen, J. (2012). Usability 101: Introduction to Usability. Recuperado de: <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>
- Nórte, C. E. (2015). As vítimas da violência: Entre discursos científicos e biopolíticas do contemporâneo. *Revista Psicologia & Sociedade*, 27(1). <https://doi.org/10.1590/psisoc.v27i1.3859>
- Olmedo, H. (2013). Virtuality Continuum's State of the Art. *Procedia Computer Science*, 25, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.032>
- Pressman, R. S. (2011). *Engenharia de Software*. McGraw Hill Brasil.

- Santos, A. R. dos. (2002). *Metodologia científica: A construção do conhecimento*. DP&A.
- Shapiro, E., & Laub, B. (2015). Early EMDR Intervention Following a Community Critical Incident: A Randomized Clinical Trial. *Journal of EMDR Practice and Research*, 9(1), 17–27. <https://doi.org/10.1891/1933-3196.9.1.17>
- Shapiro, F. (2001). *Eye Movement Desensitization and Reprocessing: Basic Principles, Protocols, and Procedures*. Guilford Press.
- Shapiro, F. (2014). The Role of Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy in Medicine: Addressing the Psychological and Physical Symptoms Stemming from Adverse Life Experiences. *The Permanente Journal*, 18(1), 71–77. <https://doi.org/10.7812/TPP/13-098>
- Wechsung, I. (2014). *An Evaluation Framework for Multimodal Interaction: Determining Quality Aspects and Modality Choice* (2014 edition). New York: Springer.
- Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (2010). Virtual reality treatment of posttraumatic stress disorder due to motor vehicle accident. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 13(1), 21–27.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso—Planejamento e Métodos*. (5a ed). Bookman Editora.

Las TIC y rendimiento académico en la educación superior: Una relación potenciada por el uso del Padlet

Mariuxi Pardo-Cueva¹, Laura Magali Chamba-Rueda², Ángel Higuerey Gómez³,
Byron Gustavo Jaramillo-Campoverde⁴

aaiguerey@utpl.edu.ec, ahreinaldo@utpl.edu.ec, mcpardo@utpl.edu.ec

¹ Departamento de Ciencias Empresariales, Universidad Técnica Particular de Loja, 11-01-608, Loja, Ecuador.

² Departamento de Ciencias Empresariales, Universidad Técnica Particular de Loja, 11-01-608, Loja, Ecuador.

³ Departamento de Ciencias Empresariales, Universidad Técnica Particular de Loja, 11-01-608, Loja, Ecuador.

⁴ Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, Universidad Técnica Particular de Loja, 11-01-608, Loja, Ecuador.

Pages: 934–944

Resumen: Uno de los elementos que más ha intervenido en la formación universitaria son las TIC, siendo de prioridad su inclusión por su aporte positivo en los procesos de enseñanza-aprendizaje y más aún en el desempeño académico; por ello, en esta investigación se analizó la relación entre la satisfacción por el uso del Padlet y el rendimiento académico en una Institución de Educación Superior del Ecuador. Se empleó una metodología de tipo relacionar y la población de estudio, fueron 92 estudiantes matriculados en modalidad presencial de diferentes carreras de pregrado que oferta la IES. Los resultados mostraron que existe relación entre la herramienta Padlet utilizada con el rendimiento (calificaciones) obtenidas por los estudiantes al final del ciclo académico. Por otra parte, se enfatizó que, la satisfacción por el uso de herramientas digitales, estará relacionado también con el nivel de complejidad de la asignatura.

Palabras-clave: Padlet; rendimiento académico; educación superior; TIC.

ICT and academic performance in higher education: A relationship enhanced by the use of the Padlet

Abstract: One of the elements that has most intervened in university education is ICT, its inclusion being a priority due to its positive contribution in the teaching-learning processes and even more so in academic performance; Therefore, in this research the relationship between satisfaction with the use of the Padlet and academic performance in an Institution of Higher Education of Ecuador was

analyzed. A methodology of type relationship was used and the study population, were 92 students enrolled in face-to-face modality of different undergraduate courses offered by the HEI. The results showed that there is a relationship between the Padlet tool used with the performance (grades) obtained by the students at the end of the academic year. On the other hand, it was emphasized that satisfaction with the use of digital tools will also be related to the level of complexity of the subject.

Keywords: Padlet; academic performance; higher education; TIC

1. Introducción

Con el avance de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), el mundo se está convirtiendo en una aldea global, y las instituciones de educación superior (IES) no se quedan atrás, pues están adoptando las últimas herramientas tecnológicas para que el aprendizaje sea mejor, eficiente, efectivo y flexible (Farid, Ahmad, Alam, Akbar y Chang (2018).

Por lo tanto, la integración de las herramientas tecnológicas como soporte para el mejoramiento de las prácticas pedagógicas en las Instituciones de Educación Superior (IES), se realiza en base a políticas educativas relacionadas a la incorporación de las TICs en las prácticas de enseñanza y aprendizaje. Estas políticas son emitidas por organismos internacionales como la UNESCO (2008), señalando que los estudiantes están llamados a desempeñar un papel fundamental en el ámbito educativo, ya que suelen hallarse a la vanguardia de la utilización de las nuevas tecnologías contribuyendo a insertar la práctica de éstas en la vida diaria. Por otro lado, en Ecuador dichas políticas son planteadas por el Ejecutivo a través de sus entes reguladores como la Senescyt, CES, CEAACES y ASSES.

En este sentido, el uso cotidiano de las TIC por parte de los estudiantes conlleva a la asignación de nuevos roles y tareas, dada la necesidad por cambiar de paradigma de modelos tradicionales de enseñanza a modelos innovadores de aprendizaje, denotándose un uso consciente de las tecnologías en una asignatura y no únicamente su inclusión por requisito (Domínguez & Carmona, 2017).

Así mismo, la inclusión de las TIC en el proceso educativo facilita la labor docente, pero en especial contribuye al fomento de conocimientos y habilidades que adquiere el estudiante para dar soluciones a problemas específicos de cada asignatura, permitiendo además realizar clases más interactivas, establecer un canal adicional de comunicación entre docente-estudiantes y promover el aprendizaje autónomo (Astudillo, 2016).

Por otro lado, es importante destacar que son pocos los estudios de carácter cuantitativo, que miden el impacto de estas tecnologías en el proceso educativo y/o rendimiento académico, en especial en países en desarrollo, donde el camino para lograr un mayor desarrollo económico es la calidad educativa (Botello y López, 2014).

En este marco, la investigación nos permitió comprender y explicar el uso de una herramienta tecnológica denominada Padlet, como estrategia para la enseñanza-aprendizaje y por ende mejorar el rendimiento estudiantil. Las preguntas de investigación que se pretende dar solución son: ¿Incide el uso cotidiano de las TIC como el Padlet, en el rendimiento académico (calificaciones) de los estudiantes universitarios?, ¿Hay alguna relación, positiva o negativa?

El desarrollo del trabajo investigativo está estructurado en los siguientes apartados: introducción del tema de estudio, revisión de la literatura, metodología, análisis de resultados y finalmente se emiten las conclusiones.

2. Revisión de literatura

2.1. Uso de las TIC en la educación superior

La introducción de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la vida de los seres humanos constituye hoy en día un giro notable respecto a las formas de comunicarnos e informarnos y más aún en el ámbito educativo que ha tenido que ajustarse a estos nuevos cambios tecnológicos (Domínguez & Carmona (2017). Por tanto, su uso en las universidades constituye no solo un hecho sino un desafío, para los alumnos y profesores, pues hay que reconfigurar la tecnología con la práctica en el aula de clase (Flavin, 2017).

Lo anterior se fundamenta con lo planteado con Echeverría (2000) señalando que, la tecnología infringe en la población en dos sentidos: por un lado, nos permite resolver dificultades de la vida diaria y comunicarnos a distancia y por otro, ha convertido nuestro entorno de natural a urbano y de urbano a casi virtual, lo cual sugiere cambios en los hábitos y comportamientos. Por tanto, se justifica que el uso de las TICs para la construcción de un conocimiento colectivo, participativo, dinámico, activo, colaborativo y crítico reflexivo (Quesada, 2010), además de las grandes potencialidades que ofrece en las prácticas pedagógicas por el simple hecho de incluirlas en ellas (Astudillo, 2016).

Por otro lado, la presencia de las TIC en la formación universitaria favorece los procesos de enseñanza permitiendo mantener un aprendizaje abierto, continuo y flexible, al romper las barreras de tiempo para dar paso a las posibilidades de nuevos criterios y conocimientos, desarrollar su identidad profesional, potenciando habilidades y competencias que tienen impacto no solo dentro del ámbito educativo sino también en lo laboral (Garcés-Suárez y Alcívar, 2016; Alzahrani, 2017).

2.2. TIC y rendimiento académico

El estudio de las TIC y de aplicación en la educación es de gran importancia pues permite la transferencia del conocimiento, del auto aprendizaje y la comprensión (Khan y Markauskaite, 2017); por ello, la incorporación de la tecnología en la universidad revela cambios en el proceso de formación e incremento en el rendimiento académico, dado por la adquisición de habilidades y actitudes que contribuyen en mejorar el futuro laboral además, permite alcanzar una constante innovación dentro de las aulas escolares al tener una ampliación de entornos de aprendizaje y una diversificación de los métodos de trabajo (Faúndez, Bravo, Ramírez y Astudillo, 2017).

Para Alcibar Monroy y Jiménez (2018). Cuando se incorporan diferentes herramientas tecnológicas dentro de la formación educativa, los estudiantes tienen la capacidad de aprender de maneras distintas y a ritmos desiguales; sin embargo, para los procesos de aprendizaje estudiantil es necesario medir el rendimiento académico dentro de los saberes, de acuerdo a los estándares que se establecen dentro de una región.

Trabajos empíricos que analizan el impacto del uso de las TIC sobre el desempeño académico realizan comparaciones cualitativas entre las variables asociadas, pero son pocos los estudios en los que se encuentra un carácter cuantitativo; esto se debe, porque el cálculo de la influencia que ejercen las TIC en las calificaciones obtenidas por los estudiantes es un problema difícil de estudiar por los factores observables y no observables que inciden en su relación (Biagi y Loi, 2013). Sin embargo, investigaciones recientes en el ámbito universitario, han logrado demostrar que la implementación de las TIC en las aulas de clases permite mejorar el desempeño académico y comprensión de un tema, sea cual fuere la disciplina (Calello, Fritzsche, Quintar y Vio, 2014; Torres y Velásquez, 2015).

Otras investigaciones como las de Escardíbul y Mediavilla (2016) encuentran que la disponibilidad de recursos tecnológicos ya sea en el hogar o en la escuela influye positivamente el rendimiento; no obstante, el tiempo y la frecuencia de uso impactan negativamente en la adquisición de competencias educativas.

2.3. Herramienta Padlet

Se considera al Padlet como un diario mural o póster interactivo, permitiendo que varias personas puedan crear pizarras con contenido variado. Se podrá editar al mismo tiempo, además permite publicar, almacenar y compartir recursos multimedia e información de diferentes fuentes de manera individual o en colaboración con un grupo de personas (Pardo-Cueva, Chamba-Rueda, Ríos-Zaruma y Higuerey, 2019). Constituye además un blog o pared social, permitiendo que el aprendizaje sea más reflexivo por las oportunidades que brindan a los estudiantes de aprender sobre los mismos temas desde diferentes contextos Caldwell, H., & Heaton, R. (2016).

El uso del Padlet como tecnología educativa, constituye una innovación que permite el trabajo colaborativo en las aulas de clase, incrementando, el interés de las generaciones jóvenes (Au-Yong-Oliveira, Gonçalves, Martins, & Branco, 2018). Además, mejorar la eficiencia del tiempo utilizado en clase, pudiendo los estudiantes publicar, leer y editar sus respuestas durante los debates.

El Padlet se diferencia con otras herramientas colaborativas por su simplicidad, interfaz intuitiva, y porque probablemente sea una de las que más atrae a niños y jóvenes, ya que posee opciones que permiten agregar fondos, colores, íconos, y así dar un toque de personalidad a cada uno de los muros, donde todo dependerá de su configuración (Gallegos, 2016).

Por otro lado, estudios realizados por Eiland (2018), señalan que la herramienta padlet también facilita el aprendizaje activo, recomendando su implementación en el sector educativo.

3. Metodología

La presente investigación busca relacionar el grado de satisfacción del uso de la herramienta padlet versus el rendimiento académico en una institución de educación

superior. En este sentido se emplea una metodología de tipo relacionar, con el fin de determinar la relación entre el empleo de la herramienta Padlet y el rendimiento estudiantil. Al respecto se aplican e interpretan pruebas no paramétricas para el análisis de correlaciones y de varianzas de las variables principales.

Se seleccionó como población de estudio, los estudiantes matriculados en modalidad presencial de las titulaciones de Contabilidad y Auditoría, Administración de Empresas e Ingeniería Química de la Universidad Técnica Particular de Loja - UTPL del Ecuador, correspondiente al ciclo académico abril - agosto 2018.

La UTPL dicta clases en la modalidad presencial y a distancia. En ambos casos, las actividades de docencia, se dividen en dos ciclos por año escolar que compone cuatro (4) meses. Los ciclos se componen de dos bimestres, tiempo en los cuales, los docentes deben hacer evaluaciones acumulativas, así como un examen bimestral al final de cada bimestre. La suma de todas estas, corresponde a la evaluación por bimestre, y la suma de los dos bimestres, corresponde a la calificación definitiva de la materia. Por otra parte, la escala de valoración en esta universidad es de cuarenta (40) puntos divididos en veinte (20) puntos por cada bimestre. La nota mínima aprobatoria es de catorce (14) puntos por bimestre y veintiocho (28) por ciclo académico.

Las asignaturas por titulación y el número de estudiantes por cada uno de ellas es la siguiente: Administración 18 estudiantes de la Titulación de Contabilidad y Auditoría; Gestión de la calidad 47 alumnos de la Titulación de Administración de empresas; y Gestión empresarial 27 estudiantes de la titulación de Ingeniería Química.

Los componentes en donde se aplicó el instrumento son los siguientes:

- Gestión de calidad, de la titulación de Administración de Empresas. Pertenecer al octavo ciclo de la titulación y tiene un alto nivel de complejidad, debe tener conocimientos de la estadística descriptiva e inferencial; presentando un plan académico considerado extenso, por la cantidad de contenidos impartidos.
- Administración de la titulación de Contabilidad y Auditoría. Es de primer ciclo de la titulación. Tiene como competencias las siguientes: Maneja y aplica herramientas de apoyo para la gestión empresarial; y conoce y entiende al ser humano, su ética, su comportamiento, sus interrelaciones, su aporte en el desenvolvimiento de la sociedad. Tiene un alto componente teórico.
- Gestión empresarial y de calidad de la titulación Ingeniería Química. Pertenecer al octavo ciclo de la titulación y tiene un alto nivel de complejidad, debe tener conocimientos de la estadística descriptiva e inferencial; presentando un plan académico considerado extenso, por la cantidad de contenidos impartidos.

A esta población se les aplicó un instrumento que contenía veinte (20) preguntas distribuidas en dos bloques. El primer bloque, recoge la información para la descripción de la población; mientras que el segundo bloque, se emplea para determinar la apreciación con respecto al empleo del “Trabajo colaborativo utilizando Padlet”; evaluando el uso de los recursos empleados y la satisfacción con respecto a los mismos.

El segundo bloque del instrumento fue diseñado con varias escalas de Likert, dependiendo de las variables a medir. En el caso de nivel de satisfacción con el uso del Padlet y del

rendimiento obtenido, se utilizó la de “Totalmente en desacuerdo”, “En desacuerdo”, “Ni de acuerdo, ni en desacuerdo”, “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo”.

Por otra parte, para medir el rendimiento estudiantil, se empleó la calificación obtenida por los participantes en las asignaturas en el primer bimestre, el segundo bimestre y la nota final, de acuerdo al registro del sistema académico de la UTPL.

Posteriormente, los resultados obtenidos del nivel de satisfacción con el uso del Padlet y de las notas obtenidas, se convirtieron en variables binarias, en favorable o desfavorable. Las respuestas de la primera opción son los que contestaron “De acuerdo” y “Totalmente de acuerdo”; mientras que, para las desfavorables se consideraron los que respondieron: “Totalmente en desacuerdo”, “En desacuerdo”, “Ni de acuerdo ni en desacuerdo”. En definitiva, las variables a emplear quedaron de la siguiente forma.

- Nivel de satisfacción por uso del Padlet (NSP): es una variable binaria, 1 y 0, donde 1 representa que los estudiantes de la muestra se encuentran satisfecho por el uso del Padlet en el componente académico y 0 que no.
- Nivel de satisfacción el rendimiento (NSR): es una variable binaria, 1 y 0, donde 1 representa que los estudiantes de la muestra se encuentran satisfecho con el rendimiento obtenido en el componente académico y 0 que no.

Para determinar la relación entre el NSP y el NSR se usa el coeficiente de correlación de Spearman, pues permite medir el grado de correspondencia que existe entre los rangos que se asignan a los valores de las variables en estudios, adaptándose a esta investigación de datos ordinales.

Para ello, en este trabajo se plantean las siguientes hipótesis:

- H_0 =No existe relación significativa entre los estudiantes satisfecho con el uso del Padlet y los estudiantes satisfecho con el rendimiento obtenido en el componente. Y como hipótesis nula, que no existe relación.
- H_1 =Existe relación significativa entre los estudiantes satisfecho con el uso del Padlet y los estudiantes satisfecho con el rendimiento obtenido en el componente.

4. Análisis y discusión de los resultados

Se pretende ver la relación que existe entre el nivel de satisfacción de los estudiantes por el uso del Padlet y la satisfacción por la nota obtenida. En este sentido, tal como se observa en la figura 1, como se distribuyen los estudiantes de la muestra por componente estudiado y por edad. Se destaca que el mayor número de estudiantes de la muestra se encuentra en el componente Gestión de calidad, que corresponde a la titulación de Administración de Empresas; siendo en este grupo, donde se encuentra también los estudiantes de avanzada edad. En los otros componentes, Administración y Gestión empresarial y de calidad, de las titulaciones de Contabilidad y Auditoría e Ingeniería Química, respectivamente, se constituye por una masa estudiantil joven, ya que la gran mayoría no sobre pasa los 25 años de edad; en el caso de Administración, por ser un componente del primer ciclo, más de las tres cuarta partes son menores de 23 años de edad.

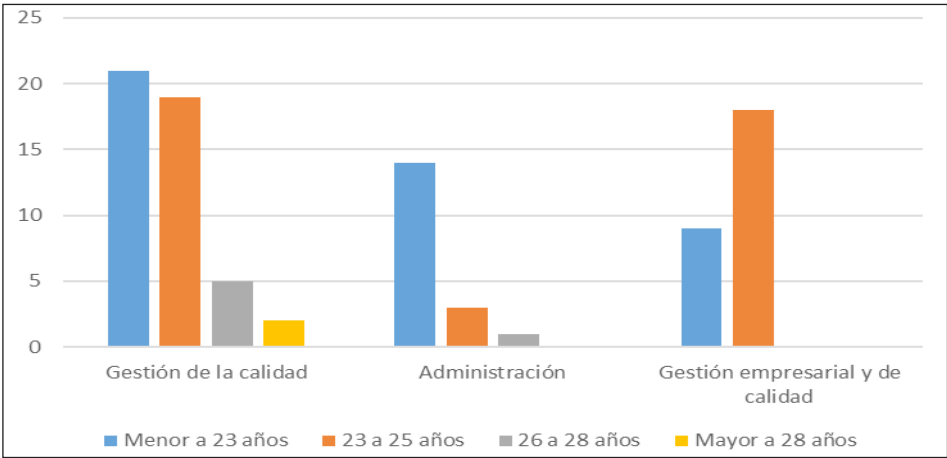


Figura 1 – Distribución de la muestra de estudiantes por componentes y por edad.

De la muestra estudiada, 78 estudiantes se sintieron satisfecho con el uso de Padlet en el componente académico; mientras que 72 estudiantes, dijeron sentirse satisfecho con el rendimiento obtenido en el componente. Esto se traduce en que, los estudiantes sintiéndose satisfecho con el Padlet, muestra su insatisfacción al no poder incrementar el rendimiento en el componente.

Ahora bien, la distribución por nivel de satisfacción y la nota obtenida en los diferentes componentes se describe en la tabla 1, apreciándose como los estudiantes que han calificado sentirse satisfecho con el uso del Padlet y el rendimiento, se ha mejorado de un ciclo a otro; apreciándose al final, que 10 de los estudiantes que se siente satisfecho con el uso del Padlet (NSP) no aprobaron el componente académico en ese bimestre. Por otra parte, 8 de los estudiantes que dijeron sentirse satisfecho con el rendimiento, no aprobaron el componente. Es decir, que el haber aprobado o no, el componente, no incidió en la calificación dada al uso del Padlet.

Variable de satisfacción	Primer bimestre			Segundo bimestre			Nota final		
	< 14	14-18	> 18	< 14	14-18	> 18	< 28	28-36	> 36
NSP	27	51	0	9	65	4	10	67	1
NSR	21	51	0	7	62	3	8	63	1

Tabla 1 – Distribución de los estudiantes satisfecho con el uso del Padlet y el rendimiento por ciclo y edad.

Para determinar la relación entre la satisfacción por el uso del Padlet y la satisfacción del rendimiento estudiantil se aplican e interpretan pruebas no paramétricas para el análisis de correlaciones y de varianzas de las variables principales, respectivamente el

coeficiente de correlación de Spearman (Zempoalteca, Barragán, González y Guzmán, 2017; Alves, Miranda, Morais y Melaré, 2018. Pardo-Cueva, Chamba-Rueda, Rios-Zaruma e Higuerey, 2019). El sistema empleado para la determinación de estos, fue el Stata S/E 15.0.

Los resultados obtenidos muestran en la tabla 2, apreciándose un bajo t , menor al 5%; por consiguiente, se acepta la hipótesis alternativa; es decir, que existe relación significativa entre los estudiantes satisfecho con el uso del Padlet y los estudiantes satisfecho con el rendimiento obtenido en el componente.

Number of obs =	92
Spearman's rho =	0.3636
Test of Ho: NSP and NSR are independent	
Prob > t =	0.0004

Tabla 2 – Correlación de Spearman NSP y NSR

No obstante, es importante destacar, siguiendo a Castellanos (2015), que el solo uso de las TIC no genera un impacto en la calidad de la educación, pero fortalece los conocimientos básicos de las áreas disciplinares y se aprovecha el tiempo dedicado a los estudios.

Ahora bien, los componentes estudiados como muestran, presenta diferentes características, por lo que se cree conveniente mostrar el nivel de satisfacción por el uso del Padlet y del rendimiento obtenido, por componente (ver tabla 3). Se aprecia que el mayor porcentaje de estudiantes no satisfecho con el uso del Padlet, se ubican en el componente Gestión empresarial y de calidad, que es un componente que tiene una exigencia mayor, en cuanto a los requerimientos, y pertenece a la titulación de Ingeniería Química.

Componente Académico	Satisfecho		No Satisfecho		Total	
	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
Gestión de la calidad	43	91,5%	4	8,5%	47	100,0%
Administración	16	88,9%	2	11,1%	18	100,0%
Gestión empresarial y de calidad	19	70,4%	8	29,6%	27	100,0%

Tabla 3– Distribución de la muestra por nivel de satisfacción por uso del Padlet y componente académico

En este sentido, es necesario acotar que el componente de Gestión calidad se la dicta para la titulación de Administración de empresas y tiene como fin proveer conocimientos para que los estudiantes puedan implementar modelos de gestión de calidad en cualquier tipo de empresas; es decir un componente troncal. Mientras que el componente de Gestión empresarial y de calidad es de libre configuración y se estudia de manera general la calidad y también sistemas de administración.

5. Conclusiones

En esta investigación se analizó la relación entre la satisfacción por el uso del Padlet y el rendimiento académico, en instituciones de educación superior. Para ello se seleccionó como muestra los estudiantes matriculados en modalidad presencial de las titulaciones de Contabilidad y Auditoría, Administración de Empresas e Ingeniería Química de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), de Ecuador correspondiente al período académico abril – agosto 2018.

Los resultados muestran que existe relación entre la satisfacción por el uso del Padlet y el rendimiento académico por los estudiantes de las carreras de Contabilidad y Auditoría, Administración de Empresas e Ingeniería Química de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), en el período académico abril – agosto 2018. Aunado a lo anterior, se observa una mejora en las notas obtenidas, al comparar las notas obtenidas en el primer bimestre con la nota que obtuvieron al final de los cursos; ya que la herramienta Padlet fue empleada en la segunda mitad del ciclo académico. (Pardo-Cueva, Chamba-Rueda, Rios-Zaruma e Higuerey, 2019).

Por otra parte, se destaca, que la satisfacción por el uso de herramientas digitales, estará relacionado también con el nivel de complejidad del componente; así como el aporte que hace la herramienta en el desarrollo de la actividad.

Se ha estudiado el uso de herramientas tecnológicas en la educación superior y se abre nuevas perspectivas de estudio, que conllevan a ampliar la población y a la inclusión de nuevas variables. Lo primero, permitirá comparar con otras casas de estudio que empleen la herramienta para estudiar otro espacio; mientras que lo segundo, plantea ver si ese nivel de satisfacción, tanto del uso del Padlet como el rendimiento, no está influenciado por la motivación de parte del docente y de las diferentes exigencias en las titulaciones. Al decir de Garbanzo (2007), la discusión en torno a la calidad de la educación superior es controversial y el rendimiento académico de sus estudiantes es solo una dimensión de su análisis.

En este sentido, este trabajo aporta a la necesidad del uso del trabajo colaborativo a través del Padlet en la educación superior, contribuyendo con ello al cambio exigido a este nivel de educación; a la vez que se fomenta el trabajo en equipo y el uso de herramientas tecnológicas en el desarrollo profesional.

Referencias

- Alcibar, M.F, Monroy, A. y Jiménez, M. (2018). Impacto y Aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación Superior. *Información Tecnológica*, 29(5), 101-110. doi:10.4067/S0718-07642018000500101.
- Alves, P., Miranda, L., Morais, C., & Melaré, D. (2018). Estilos de aprendizaje de los estudiantes de la educación superior y el acceso a las herramientas de entornos virtuales. *Tendencias Pedagógicas*. 31, 69-82. doi:10.15366/tp2018.31.003
- Alzahrani, M. G. (2017) The Developments of ICT and the Need for Blended Learning in Saudi Arabia, *Journal of Education and Practice*, 8(9), 79-87.

- Astudillo, M. (2016). La configuración didáctica de las estrategias de enseñanza con Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en las prácticas pedagógicas de las ingenierías. *Education in The Knowledge Society (EKS)*, 17(2), 109-131. doi:10.14201/eks2016172109131.
- Au-Yong-Oliveira, M., Gonçalves, R., Martins, J., & Branco, F. (2018). The social impact of technology on millennials and consequences for higher education and leadership. *Telematics and Informatics*, 954-963.
- Biagi, F. & Loi (2013). Measuring ICT Use and Learning Outcomes: evidence from recent econometric studies. *European Journal of Education*, 48, (1).
- Botello, H.A y López A. (2014). La influencia de las TIC en el desempeño académico: Evidencia de la prueba pirls en Colombia 2011. *Revista Academia y Virtualidad*, 7, (2), 15-2.
- Caldwell, H., & Heaton, R. (2016). The interdisciplinary use of blogs and online communities. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 142-158.
- Calello, T., Fritzsche, F., Quintar, A. y Vio, M. (2014). Redes y nuevas tecnologías de información y comunicación en las asambleas vecinales de Buenos Aires. *Revista Economía, Sociedad y Territorio*, 4(16), 609-33.
- Castellanos, Martha. (2015). ¿Son las TIC realmente, una herramienta valiosa para fomentar la calidad de la educación? Unesco.
- Domínguez, H., & Carmona, H. (2017). El uso de las TIC y sus implicaciones en el rendimiento de los alumnos de bachillerato. Un primer acercamiento. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(1), 21-38. doi:10.14201/eks20171812138.
- Echeverría, J. (2000). Un mundo virtual. Barcelona: Nuevas Ediciones de Bolsillo.
- Escardíbul, J. y Mediavilla, M. (2016). El efecto de las TIC en la adquisición de competencias. Un análisis por tipo de centro educativo. *Revista española de pedagogía*, 264, 317-335.
- Eiland, L. (2018). Student Perceptions of Active-Learning Strategies Utilized in a Drugs in Pregnancy Elective Delivered Synchronously across Multiple Campuses TechTrends. *Linking Research and Practice to Improve Learning*, 259-265.
- Farid, S., Ahmad, R., Alam, M., Akbar, A. y Chang, V. (2018). Un modelo de evaluación de calidad sostenible para la entrega de información en sistemas de E-learning”, *Descubrimiento y entrega de información*, 46 (1), 1-25. <https://doi.org/10.1108/IDD-11-2016-0047>.
- Faúndez, C., Bravo, A., Ramírez G. y Astudillo, H. (2017). Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje de Conceptos de Termodinámica como Herramienta para Futuros Docentes. *Formación Universitaria*, 10(4), 43-54. doi:10.4067/S0718-50062017000400005,

- Flavin, M., (2017). Free, Simple and Easy to Use: Disruptive Technologies, In *Disruptive Technology Enhanced Learning*, Palgrave Macmillan, Londres, Inglaterra. doi. org/10.1057/978-1-137-57284-4_2,19-52.
- Gallegos, J. (2016). La colaboración en Internet nunca fue más fácil. *Revista para el Aula – IDEA*, 17.
- Garbanzo, Guiselle. (2007). Factores asociados al rendimiento académico en estudiantes universitarios, una reflexión sobre la calidad de la educación superior pública. *Revista Educación*, 31 (1), 43-63.
- Garcés-Suárez, E., y Alcívar, A. (2016). Las tecnologías de la información en el cambio de la educación superior en el siglo XXI: reflexiones para la práctica, *Revista Universidad y Sociedad*, 8(4), 171-177.
- Khan, M.S.H. y Markauskaite, L. (2017). Approaches to ICT-enhanced teaching in technical and vocational education: a phenomenographic perspective, *Higher Educ*, 73(5), 691-707 (2017). doi:10.1007/s10734-016-9990-2.
- Pardo-Cueva M., Chamba-Rueda L. M., Rios-Zaruma J. y Higuerey A. (2019). Information and communication technologies and their relationship with academic performance in higher education. *14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Coimbra, Portugal, 2019, 1-6.
- Quesada, A. (2010). Aprendizaje Colaborativo e Interuniversitario en Línea: Una experiencia asíncrona y síncrona. *Revista de Lenguas Modernas*, 12(1), 197-210.
- Torres, J. y Velásquez, A. (2015). Las tecnologías de información y comunicación y su efecto en el rendimiento académico de los estudiantes en las escuelas secundarias del departamento de Córdoba-Colombia. *Ingeniería al Día*, vol. 1(1), 17-23.
- UNESCO (2008). Estándares de competencia TIC para docentes. París
- Zempoalteca Durán, B., Barragán López, J. F., González Martínez, J., & Guzmán Flores, T. (2017). *Formación en TIC y competencia digital en la docencia en instituciones públicas de educación superior*. Apertura (Guadalajara, Jal.), 9(1), 80-96.

Dimensiones de competencia digital en docentes universitarios: análisis relacional basado en componentes¹

David Alberto García Arango², Jorge Eliécer Villarreal Fernández³, José Antonio Ortega Carrillo⁴, Óscar Andrés Cuéllar Rojas⁵, César Felipe Henao Villa⁶

dagarcia@coruniamericana.edu.co, jvillarreal@coruniamericana.edu.co, jaorte@ugr.es, ocuellar@coruniamericana.edu.co, chenao@coruniamericana.edu.co

²Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, calle 36B N°31-49, 050016, Medellín, Colombia.

³Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

⁴Catedrático de Didáctica y Organización Escolar, Calle del Prof. Clavera, 18015, Granada, España.

⁵Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

⁶Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

Pages: 945–960

Resumen: Este escrito pretende enriquecer los estudios existentes relacionados con las competencias digitales de docentes universitarios. Se presentan y analizan los resultados de una investigación dirigida a identificar relaciones basadas en componentes para cuatro dimensiones de competencia para una muestra de 93 docentes de programas de Derecho, Contaduría Pública, Administración de Empresas, Licenciatura en Pedagogía de la Primera Infancia, Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Industrial de una Institución de Educación Superior de la ciudad de Medellín. Se identificaron tres componentes para cada dimensión de competencia que posteriormente fueron contrastados respecto de la muestra, generándose una reinterpretación de la teoría existente en contexto con la Institución de Educación Superior base del estudio. Los resultados permitieron identificar subcategorías de competencia digital que permiten identificar fortalezas y oportunidades de mejora en el marco de la generación de políticas y estrategias orientadas hacia el desarrollo profesoral de competencias digitales para la gestión curricular.

Palabras-clave: TIC; competencia digital; docencia universitaria; análisis relacional; gestión curricular.

¹ Trabajo resultado del proyecto de investigación para el Proyecto de I+D+I que contribuye al fortalecimiento de la formación virtual en el Departamento de Antioquia. Proyecto de investigación financiado por Colciencias con código 64408

Dimensions of digital competence in university teachers: relational analysis based on components

Abstract: This paper aims to enrich existing studies related to the digital skills of university teachers. The results of an investigation aimed at identifying component-based relationships for four dimensions of competence are presented and analyzed for a sample of 93 teachers of Law, Public Accounting, Business Administration, Bachelor of Early Childhood Education, Systems Engineering and Industrial Engineering of a Higher Education Institution in the city of Medellín. Three components were identified for each dimension of competence that were subsequently contrasted with respect to the sample, generating a reinterpretation of the existing theory in context with the Institution of Higher Education base of the study. The results allowed to identify subcategories of digital competence in order to identify strengths and opportunities for improvement within the framework of the generation of policies and strategies oriented towards the professional development of digital competences for curriculum management.

Keywords: ICT; digital competence; university teaching, relational analysis; curriculum management.

1. Introducción

Una de las preocupaciones que vienen teniendo los diferentes Ministerios encargados de las Tecnologías, las Comunicaciones y la Educación, están relacionadas con el nivel de uso real que se hace de las TIC en el sistema educativo, en todos sus niveles. A este respecto, se ha presentado que las instituciones cuentan con las tecnologías necesarias, pero no las han incorporado en los procesos de enseñanza y mucho menos con un sentido pedagógico.

Para Coll, Mauri y Onrubia (2006), el aumento en el uso de recursos TIC debería impulsar la transformación de los modelos pedagógicos y resignificar formas de adquisición de autonomía tanto del proceso de enseñanza como de aprendizaje en los diferentes espacios de formación. Si el uso de estas tecnologías genera nuevos lenguajes, formas de representación y nuevos escenarios de aprendizaje, no es posible que las instituciones educativas permanezcan al margen de esto, deben conocerlos y utilizarlos. Analizando situaciones como las anteriores, en la Corporación Universitaria Americana se empezó un proceso de investigación que permitió un acercamiento hacia la realidad en el uso de las TIC por parte de los docentes. Un primer paso se realizó determinando la actitud de los profesores frente a las TIC (Cuéllar, García, Villarreal, Gallego, Echeverri y Henao, 2019) con lo cual se identificó una muy buena actitud frente a estos instrumentos tecnológicos. El mayor porcentaje de docentes tienen una actitud favorable que puede ser explicada a través del factor intrínseco, es decir, la mayoría de estos indicaron situaciones dependientes directamente de la labor docente.

Los resultados obtenidos del instrumento propuesto en Agreda Montoro, Hinojo Lucena, & Sola Reche (2016) y su contraste con los datos de uso de las TIC permitieron determinar que la actitud de los docentes hacia ellas es “Muy Favorable”, lo que resulta contradictorio con el bajo nivel de uso y el uso instrumental que hacen de las mismas,

esto lleva a pensar en la necesidad de una identificación más clara de lo que el concepto de “actitud” implica en el contexto de la investigación.

Un interrogante que surgió de la investigación realizada fue si la no utilización de las TIC por parte de los docentes estaría relacionada con el conocimiento y la formación que tienen de ellas. De ahí que surge esta propuesta que se propone determinar el nivel de competencia digital de los docentes de la institución universitaria. Se propone identificar las competencias digitales que los docentes tienen, cuáles son sus fortalezas y posibilidades de mejoramiento, qué formación han tenido en todo lo digital y cómo se sienten frente al uso que, en el aspecto pedagógico y didáctico, pueden hacer de ellas.

Numerosas investigaciones, en los últimos años, han estudiado la competencia digital, de manera autopercebida de estudiantes y docentes, en distintos niveles educativos, desde perspectivas conceptuales, procedimentales y actitudinales (Cabezas, Casillas & Pinto, 2014; Edelhard, 2015; Fernández, Fernández & Cebreiro, 2016; Flores & Roig, 2016; Korucu, Yücel, Gündoğdu & Gençtürk, 2015; Maderick, Shaoan, Hartley & Marchand, 2015; Martín, Sáenz, Santiago & Chocarro, 2016; Mork & Krumsvik, 2016; Rambousek, Stepe & Vanková, 2016; Torres & Vidal, 2015, Pascual-Sevillano, Ortega-Carrillo, Fombona-Cadavieco, & Pérez-Ferra, 2017). Para investigar la competencia digital de los docentes universitarios, se requieren instrumentos válidos y fiables que permitan estudiarla. Se considera útil contar con un cuestionario, válido y fiable, que permita recolectar información acerca de las dimensiones de conocimiento, manejo y actitudes que tienen los docentes universitarios hacia las TIC.

Para la consecución del objetivo propuesto se dispuso, inicialmente, la elaboración de un rastreo sobre los diversos instrumentos que se han utilizado en la medición de las competencias digitales y, sobre esta base, determinar cuál es el más adecuado para la condición concreta de la institución donde se realiza la investigación. Una síntesis de esta revisión se presenta a continuación.

2. Revisión de antecedentes

R Casillas, Cabezas, Sanches-Ferreira y Teixeira (2018), diseñaron e identificaron las propiedades psicométricas del cuestionario “Competencia Digital Enseñanzas Universitarias (CODIEU)”, el cual está diseñado para medir el nivel de formación en competencia digital de estudiantes. El cuestionario consta de 88 preguntas de las preguntas sobre las dimensiones: a) conocimiento; b) manejo: dispositivos, herramientas y servicios; c) actitud. La fiabilidad del instrumento se constató como consistencia interna por medio del estadístico α de Cronbach para cada una de las dimensiones (α conocimiento= 0,92, α manejo= 0,83 y α actitud= 0,91) y para la escala completa (α = 0,91). En tres de los casos se obtuvo un nivel de fiabilidad muy bueno ($\alpha > 0,90$) con una excepción en la dimensión de manejo, en la cual el nivel desciende ligeramente, pero se puede considerar igualmente bueno. Este instrumento presenta limitaciones al centrarse en la autopercepción de los estudiantes sobre su competencia digital, la información puede tener los sesgos propios de todo proceso subjetivo, pudiendo influir esto en los resultados obtenidos.

Dentro de esta misma línea de evaluación de las competencias digitales del alumnado, González-Martínez, Esteve-Mon, Larraz, Espuny y Gisbert (2018), diseñan el cuestionario INCOTIC 2.0, el cual tiene una estructura que busca indagar sobre características socioacadémicas del estudiante, la disponibilidad de recursos TIC, el uso de las TIC, la autopercepción de la competencia digital, la cual se divide en: alfabetizaciones: informacional, tecnológica, multimedia y comunicativa. Además, revisa las actitudes y expectativas hacia las TIC y la utilidad esperada de las TIC para la vida universitaria. Realizados los correspondientes análisis de fiabilidad tras el pilotaje, INCOTIC arrojó como valores para Alfa de Cronbach los valores de 0,913 (competencia digital) y 0,914 (Índice de Actitudes) los cuales se consideran excelentes.

Para aspectos evaluativos de la competencia digital del docente universitario, Silva, Miranda, Gisbert, Morales y Onetto (2016), presentan el diseño, validación y aplicación de un instrumento para medir la Competencia Digital Docente. En la primera etapa de su investigación se generó la matriz de indicadores para la posterior construcción del instrumento, la cual se validó a través del juicio de expertos. Se diseñaron 14 indicadores en cuatro dimensiones: didáctica, curricular y metodológica; planificación, organización y gestión de espacios y recursos tecnológicos digitales; aspectos éticos, legales y seguridad y, por último, desarrollo personal y profesional. Las dimensiones y los indicadores recogen lo inherente a la competencia digital docente, que permite el uso de TIC para aprender y formarse en la carrera académica, e igualmente ilustra lo que se requiere para enseñar en el futuro ejercicio de la profesión docente.

Tourón, Martín, Navarro Asensio, Pradas e Íñigo (2018), validan un instrumento desarrollado por los autores para valorar la competencia digital de los docentes, de acuerdo con el marco actual establecido por el INTEF. Este marco especifica cinco dimensiones, a saber: información y alfabetización informacional, comunicación y colaboración, creación de contenido digital, seguridad y resolución de problemas. Se compone de cincuenta y cuatro ítems distribuidos en las cinco dimensiones señaladas. En su elaboración se han tenido en cuenta diversas fuentes y el criterio de expertos. Se realizó el estudio de fiabilidad del total de las escalas de conocimiento y uso a través del índice de consistencia interna Alpha de Cronbach y también se calculó de forma separada para cada una de las cinco dimensiones. La validez de constructo se comprobó mediante la técnica de análisis factorial confirmatorio, concretamente estimando un modelo de medida para comprobar el ajuste de los 54 ítems en las cinco dimensiones teóricas definidas. Los índices de fiabilidad obtenidos varían entre 0.89 y 0.98 en la escala de conocimiento y entre 0.87 y 0.98 en la escala de uso.

Pascual-Sevillano, Ortega-Carrillo, Fombona-Cadavieco, & Pérez-Ferra, (2017) construyen y validan un instrumento sobre percepción de la competencia digital en estudiantes del grado de educación primaria compuesto por 51 en formato escala Likert. La validez de constructo se calculó mediante el análisis de componentes rotados (rotación varimax), considerándose un índice mínimo de discriminación, igual o superior a 0,5, comprobándose que los ítems valoraban todos el mismo rasgo, y tenían correlaciones positivas con el resto de los ítems integrados en un mismo factor. También realizaron un análisis de la varianza explicada y acumulada, seleccionando cuatro factores que

explican el 31,31% de la varianza, cuyos ítems reflejan adecuadamente el universo del rasgo que pretende medir la escala. Finalmente valoraron la capacidad que tiene el instrumento para discriminar entre grupos de estudiantes que manifiestan opiniones diferentes respecto a la variable objeto de estudio. La consistencia interna manifestada a través del Alpha de Cronbach fue de 0,786, lo que representa un grado de precisión suficiente, por lo que el cuestionario objeto de este estudio tiene buena consistencia interna por lo que garantiza que las respuestas sean independientes de las circunstancias de la investigación.

3. El cuestionario competencia digital del profesorado universitario de las Facultades de ciencias de la educación españolas.

El cuestionario diseñado por Agreda, Hinojo y Sola (2016), fue el que se seleccionó para realizar esta investigación ya que es un instrumento que tiene en su contenido las herramientas TIC más actualizadas y permite la posibilidad de buscar relaciones entre sus dimensiones, por lo que se podría determinar posibilidad de cambios entre ellas a partir de la determinación de relaciones causales.

El cuestionario sobre la competencia digital del profesorado de la Educación Superior española, fue construido a partir de la revisión bibliográfica de estudios e investigaciones referentes a la temática. Dicho instrumento está compuesto de 112 ítems, distribuidos en cuatro dimensiones. La elección de este instrumento ha tenido como base principal la meta de obtener una visión general de la competencia digital docente, así como una visión más profunda de la realidad de las TIC en la docencia del profesorado de la institución. Se quiere conocer lo que hace, opinan o piensan los docentes mediante preguntas realizadas vía web y sin presencia del encuestador. Las dimensiones en las cuales se distribuyen los ítems son: uso y alfabetización digital, metodología educativa a través de las TIC en el aula, formación de los docentes universitarios en TIC y actitud ante las TIC en la Educación Superior. Los resultados arrojaron que dicho instrumento de medida era fiable gracias a los valores obtenidos en las pruebas del coeficiente de Alfa de Cronbach, el cual fue superior a 0,70, obteniendo un valor del ,92. En la validez de constructo los valores a través de la prueba KMO y Test de esfericidad de Bartlett mostró la necesidad de realizar análisis factorial, con un resultado de ,978. El análisis factorial mediante el análisis de componentes principales, dio lugar a la extracción de 19 componentes que explicaban el 63,381% de la varianza total explicada. La dimensión uno quedó compuesta por seis factores, la dimensión 2 por tres factores, la dimensión 3 compuesta por dos y la cuarta por un total de tres.

4. Metodología

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo con 93 docentes de los programas de formación en Derecho, Licenciatura en Pedagogía de Primera Infancia, Administración de Empresas, Contaduría, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Sistemas y Negocios Internacionales, todos programas de pregrado. A la muestra en cuestión, se le aplicó el cuestionario propuesto en Agreda Montoro, Hinojo Lucena, & Sola Reche (2016), el

cual consta de 111 preguntas agrupadas en 84 categorías repartidas en las siguientes dimensiones: uso y alfabetización tecnológica, metodología educativa a través de las TIC en el aula, formación del profesorado universitario en TIC y uso de las TIC según estilo de aprendizaje.

La identificación del cuestionario idóneo para la investigación se basó en un estudio hermenéutico que bajo una lógica abductiva se interesa por identificar datos que asociados a la teoría dan cuenta del caso que se está estudiando, de tal forma que sea posible realizar una mejor caracterización del caso que se está estudiando. (Samaja, 2012). Posterior a la aplicación del cuestionario, los datos tabulados fueron ingresados al software SPSS (IBM Corp., 2015) y para cada bloque de preguntas se realizó un análisis factorial exploratorio con el método de extracción de componentes principales y se realizó una rotación varimax, siguiendo especificaciones propuestas en Alaminos Chica, Francés García, Penalva Verdú, & Santacreu Fernández (2015). Los resultados de la rotación se guardaron en forma de regresión para posteriormente comparar los componentes obtenidos según el bloque de preguntas al cual pertenece. La comparación de componentes se desarrolla mediante el análisis de gráficos en los cuales a través de los valores de regresión para los componentes, se realizan representaciones por clúster de las respuestas al cuestionario. La clasificación de clúster jerárquico se hizo con el método de agrupación de enlace entre grupos, con una medida de intervalo de distancia euclídea al cuadrado. El estudio de los componentes obtenidos y el análisis de relación gráfico, permitió identificar subcategorías en las dimensiones de competencia digital y su consecuentes relaciones para de esta forma identificar la incidencia de los componentes entre sí y proponer acciones estratégicas de formación profesoral en el marco de la gestión curricular.

5. Resultados y análisis de resultados

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos de la matriz de componente rotado derivada del análisis factorial para cada bloque de preguntas o ítems. Cada grupo de ítems de la maestría de componentes rotados representan a su vez una dimensión de competencia digital en los docentes universitarios de la siguiente forma: primera dimensión, uso y alfabetización tecnológica (Tabla 1); segunda dimensión, metodología educativa a través de las TIC en el aula (Tabla 2); tercera dimensión, formación del profesorado universitario en TIC (Tabla 3) y cuarta dimensión, actitud ante las TIC en la educación superior (Tabla 4). Para cada uno de ellos, se identificaron las preguntas que más relación tienen con el componente en sus comunalidades.

Es importante aclarar que la prueba de KMO y Bartlett dieron resultados significativos para la muestra en cada análisis. En la Tabla 5 se puede observar un resumen de los componentes y sus respectivos ítems o preguntas por dimensiones, así como una descripción de cada componente dependiendo de la tipología de los ítems que quedaron aglutinados según sus comunalidades. La letra C_{ij} representa el componente j de la dimensión i y la letra $V_{j,k}$ representa el ítem o pregunta k del componente j .

Ítem	Componente		
	1	2	3
V1.1	,772		
V1.2	,868		
V1.3	,807		
V1.4	,537	,419	
V1.5	,645	,517	
V1.6	,712	,440	
V1.7		,736	,398
V1.8	,475	,583	
V1.9		,587	
V1.10	,385		,625
V1.11		,757	
V1.12		,554	
V1.13	,571	,477	,404
V1.14	,722		
V1.15			,777
V1.16		,389	,692
V1.17	,465		,739
V1.18	,427	,691	

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.

Tabla 1 – Matriz de componente rotado para la Dimensión 1^a

Ítem	Componente		
	1	2	3
V2.1	,754		
V2.2	,833		
V2.3	,718		
V2.4	,748		
V2.5	,794		
V2.6	,642		,604
V2.7			,837

Ítem	Componente		
	1	2	3
V2.8			,841
V2.9		,606	,495
V2.10	,706	,413	
V2.11	,445	,656	
V2.12	,650		
V2.13		,532	,454
V2.14	,693	,521	
V2.15	,599		
V2.16	,760		
V2.17	,448		,726
V2.18	,424	,428	,495
V2.19	,619	,483	
V2.20	,390	,584	
V2.21	,445	,405	
V2.22	,526	,668	
V2.23	,570	,453	,391
V2.24	,640		
V2.25		,664	,461
Método de extracción: análisis de componentes principales.			
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.			
a. La rotación ha convergido en 12 iteraciones.			

Tabla 2 – Matriz de componente rotado para la Dimensión 2^a

Se puede observar de las Tablas 1 y 2 que se obtuvieron tres componentes para cada una de las dimensiones, los valores decimales representan el nivel de proximidad de los datos respecto entre sí. La dimensión 1 tiene 18 ítems y la dimensión 2 tiene 25 ítems. Se dejaron visibles valores de comunalidades superiores a 0,4 y para elegir el componente al cual pertenece cada ítem, se tomó el valor numérico mayor.

Índice	Componente		
	1	2	3
V3.1		,385	,739
V3.2			,798
V3.3		,386	,782
V3.4	,706		,471
V3.5	,399		,641
V3.6	,513		,666
V3.7	,580	,446	,487
V3.8	,558	,441	,537
V3.9	,659		,432
V3.10	,662		,398
V3.11		,424	,528
V3.12	,770		
V3.13	,775		
V3.14	,662		
V3.15	,591		
V3.16	,635	,425	
V3.17	,668		
V3.18	,605	,530	
V3.19	,569	,478	
V3.20		,620	
V3.21		,710	
V3.22		,697	,389
V3.23	,447	,685	
V3.24		,807	
V3.25		,810	
Método de extracción: análisis de componentes principales.			
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.			
a. La rotación ha convergido en 8 iteraciones.			

Tabla 3 – Matriz de componente rotado para la Dimensión 3^a

	Componente		
	1	2	3
V4.1	,754		
V4.2	,688	,402	

	Componente		
	1	2	3
V4.3	,774		
V4.4		,766	
V4.5	,731	,454	
V4.6	,753		
V4.7	,766	,382	
V4.8			,648
V4.9	,687		
V4.10	,642		
V4.11	,775	,377	
V4.12			,744
V4.13			,704
V4.14	,376	,757	
V4.15		,558	
V4.16			,811
Método de extracción: análisis de componentes principales.			
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.			
a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.			

Tabla 4 –Matriz de componente rotado para la Dimensión 4^a

Las Tablas 3 y 4 presentan que se obtuvieron tres componentes para cada una de las dimensiones, los valores decimales representan el nivel de proximidad de los datos respecto entre sí. La dimensión 3 tiene 25 ítems y la dimensión 4 tiene 16 ítems, como en los casos anteriores, se dejaron visibles valores de comunialidades superiores a 0,4 y para elegir el componente al cual pertenece cada ítem, se tomó el valor numérico mayor. La Tabla 5 presenta las relaciones entre los componentes por Dimensión. Igualmente se identifican variables que a interpretación de los investigadores apuntan a líneas de gestión del docente que a su vez operativizan las competencias digitales. En ese sentido, cada componente apunta bien sea a la gestión de la información y la comunicación, a la gestión del aprendizaje y la participación o la gestión del conocimiento y curaduría de contenido. Con base en lo anterior y de acuerdo a las relaciones obtenidas, es posible hacer una descripción detallada de cada componente con base en los descriptores de cada ítem que pueden ser verificados en Agreda Montoro, Hinojo Lucena, & Sola Reche (2016).

Bloque o Dimensión	Componente	Ítem o pregunta	Categoría operativa del componente
Uso y alfabetización tecnológica	C11	V1.1, V1.2, V1.3, V1.4, V1.5, V1.6, V1.13, V1.14	Gestión de la información y la comunicación
	C12	V1.7, V1.8, V1.9, V1.11, V1.12, V1.18	Gestión del aprendizaje y la participación
	C13	V1.10, V1.15, V1.16, V1.17	Gestión del conocimiento y curaduría de contenido
Metodología educativa a través de las TIC en el aula	C21	V2.1, V2.2, V2.3, V2.4, V2.5, V2.6, V2.10, V2.12, V2.14, V2.15, V2.16, V2.19, V2.21, V2.23, V2.24	Gestión de la información y la comunicación
	C22	V2.9, V2.11, V2.13, V2.20, V2.22, V2.25	Gestión del aprendizaje y la participación
	C23	V2.7, V2.8, V2.17, V2.18	Gestión del conocimiento y curaduría de contenido
Formación del profesorado universitario en TIC	C31	V3.4, V3.7, V3.8, V3.9, V3.10, V3.12, V3.13, V3.14, V3.15, V3.16, V3.17, V3.18, V3.19	Gestión de la información y la comunicación
	C32	V3.20, V3.21, V3.22, V3.23, V3.24, V3.25	Gestión del aprendizaje y la participación
	C33	V3.1, v3.2, v3.3, v3.5, v3.6, v3.11	Gestión del conocimiento y curaduría de contenido
Actitud ante las TIC en educación superior	C41	V4.1, V4.2, V4.3, V4.5, V4.6, V4.7, V4.9, V4.10, V4.11	Cíclica – actitud emergente o de apertura al cambio
	C42	V4.4, V4.14, V4.15	En espiral – actitud disruptiva
	C43	V4.8, V4.12, V4.13, V4.16	Lineal – actitud tradicionalista

Tabla 5 – Relación entre dimensiones, componentes, variables y estilos. Descripción de los componentes obtenidos – Elaboración propia.

A continuación se presentan las respectivas descripciones y se relaciona cada componente con la competencia propuesta por la UNESCO (2008).

Componente C11: conocimiento y uso de componentes básicos de las TIC, procesadores de textos, imágenes y presentaciones. Uso de la web y sus herramientas básicas, así como de las redes sociales. Manejo de aplicaciones tipo web 2.0 y herramientas de almacenamiento en la nube. Uso de TIC de forma colaborativa y elaboración de materiales con componentes básicos de TIC. Este componente se relaciona con la competencia de *utilización de herramientas TIC en un nivel básico*.

Componente C12: conocimiento y uso de marcadores sociales y sindicación de contenido, plataformas de gestión, cuidado y protección de datos, herramientas de creación de códigos QR, Entornos Personales de Aprendizaje y manejo de herramientas de publicación en línea. Este componente se relaciona con la competencia de *utilización de herramientas TIC complejas para el aprendizaje a nivel de profundización del conocimiento*.

Componente C13: conocimiento y uso de bases de datos y tesauros para la búsqueda de información, derechos de autor y propiedad intelectual, gestores de bases bibliográficas y búsqueda eficaz y discriminación de información de relevancia en la web. Este componente se relaciona con la competencia de *utilización de tecnología generalizada para la generación de conocimiento y comunidades de conocimiento*.

Componente C21: creación e implementación en el aula de ambientes de aprendizaje con TIC en el aula, contenido digital, e-actividades, campus virtuales, recursos educativos, herramientas web 2.0, entornos de aprendizaje colaborativo, videos, planificación y organización de aprendizaje autónomo, herramientas de alojamiento en la nube, evaluación de competencias mediada por TIC, tutorización digital, redes sociales en el aula. Este componente se relaciona con la competencia de *integración, organización y administración de las TIC en el aula a un nivel básico*.

Componente C22: creación de implementación en el aula de aplicaciones de realidad aumentada, e-portafolio para el autodesarrollo y desarrollo de los estudiantes, simuladores virtuales y videojuegos, pizarra digital, aprendizaje basado en redes. Este componente se relaciona con la competencia de *solución de problemas complejos y gestión de grupos colaborativos basados en TIC a un nivel de profundización del conocimiento*.

Componente C23: producción y utilización de códigos QR, MOOC y videoconferencias con expertos. Este componente se relaciona con la competencia de *autogestión y organizaciones del aprendizaje a un nivel de generación de conocimiento basado en TIC*.

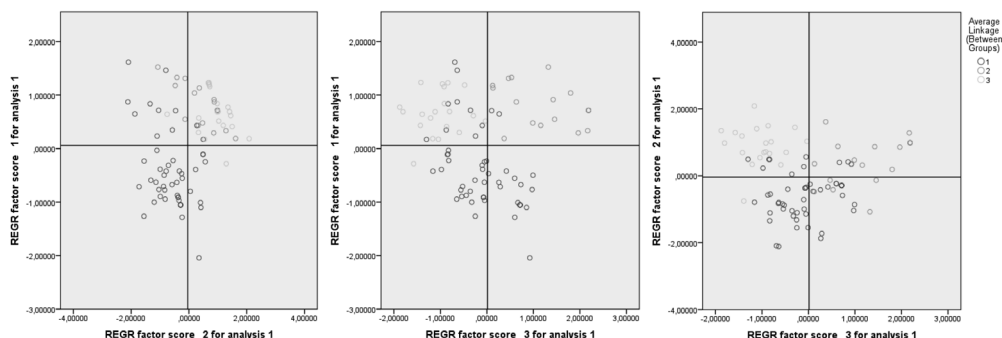
Componente C31: apropiación de cursos de formación de TIC, integración de TIC en el currículo, aprendizaje permanente y reciclaje de la competencia digital, uso de dispositivos móviles, investigación y tratamiento de recolección de datos, proyectos de innovación basados en el uso de TIC, difusión de experiencias de TIC en red, conservación de redes de contactos, autoevaluación mediante uso de TIC, comprensión y entendimiento de los indicadores y estándares respecto al uso de TIC, atención a la diversidad. Este componente se relaciona con la competencia de *alfabetismo en TIC a nivel de nociones básicas para su práctica y formación profesional*.

Componente C32: apropiación de la importancia de la competencia digital en los futuros formadores, utilización de herramientas de la nueve en el aula y crear entornos interactivos de aprendizaje, gestión y organización de las tareas docentes e investigadoras mediante TIC, rol docente como guía, mediador y aprendiz del proceso de enseñanza-

aprendizaje. Este componente se relaciona con la competencia de *gestión y guía en materia de profundización de conocimiento para el mejoramiento de su práctica y formación profesional y la de sus compañeros*.

Componente C33: apropiación del aprendizaje y experimentación autodidacta de las TIC, resolución de problemas a través de TIC y su utilización como recurso pedagógico. Formación a través de e-learning o b-learning, concimiento de las “buenas prácticas” a través de las TIC y distinción entre los diferentes usos de las TIC (recurso educativo, ocio, comunicación, entre otros). Este componente se relaciona con la competencia de *capacidad de crear comunidades profesionales del conocimiento donde el docente modelo de educando genera conocimiento para el mejoramiento de su práctica y formación profesional*.

En relación con la dimensión cuatro (actitud ante las TIC en educación superior, C41 a C43), se identifican según los ítems y su clasificación que los componentes se relacionan con actitudes cíclicas o de apertura al cambio, actitudes en espiral o disruptivas y actitud lineal o tradicionalista. Debido a que ésta fue la única dimensión que no fue posible clasificar en uno de los tres componentes de gestión, se procedió a realizar una clasificación por clúster jerárquico donde se logró identificar la existencia de tres grupos de la muestra de docentes. La Figuras 1 a 3 presentan la forma en que se distribuyen las clasificaciones obtenidas.



Figuras 1 a 3 – Relaciones entre los componentes de la dimensión 4 de “actitud ante las TIC en educación superior” con los respectivos componentes propuestos en la Tabla 5: C41 (eje y) y C42 (eje x) para la Figura 1 (izquierda); C41 (eje y) y C43 (eje x) para la Figura 2 (centro); C42 (eje y) y C43 (eje x) para la Figura 3 (derecha)

Con base en las Figuras 1 a 3 se pueden observar distribuciones de la muestra según el clúster jerárquico generando tres grupos de docentes.

El grupo uno (identificado con los círculos de color azul) se encuentra en su gran mayoría por debajo de las líneas del promedio para el componente 1 (Figuras 1 y 2) y

el componente 2 (Figura 3), así como levemente a la izquierda para el componente 3 (Figura 3). Este grupo está caracterizado por ser en su mayoría reticentes al cambio, poco disruptivos y con una actitud medianamente tradicional respecto a la educación. El grupo dos (identificado con los círculos de color verde) se encuentra en su gran mayoría por encima de las líneas del promedio para el componente 1 (Figuras 1 y 2) así como a la derecha para el componente 3 (Figura 3), al observar la Figura 3 se encuentra que este grupo está sobre la línea promedio para el componente 2. Este grupo está caracterizado por ser abierto al cambio pero con creencias tradicionales y poco disruptivos. El grupo tres (identificado con los círculos de color gris) se encuentra en su gran mayoría por encima de las líneas del promedio para el componente 1 (Figuras 1 y 2) y el componente 2 (Figura 3), así como a la izquierda para el componente 3 (Figura 3). Este grupo está caracterizado por ser abierto al cambio, disruptivo y alejados de la concepción tradicional respecto a la educación.

4. Conclusiones

El desarrollo de la investigación permitió identificar 12 componentes relacionados con la competencia digital en los docentes. Para tres de las cuatro dimensiones estudiadas (uso y alfabetización tecnológica, metodología educativa a través de las TIC en el aula y Formación del profesorado universitario en TIC), se identificaron componentes que responden a nivel operativo en el marco de la gestión de la información y la comunicación, gestión del aprendizaje y la participación y gestión del conocimiento y la curaduría de contenido. Respecto a la cuarta dimensión (actitud ante las TIC en educación superior) se encontraron componentes relacionadas con actitud emergente o de apertura al cambio (cíclica), actitud disruptiva (en espiral) y actitud tradicionalista (en espiral).

El estudio de relaciones a nivel de la actitud ante las TIC en educación superior permitió identificar que no existen perfiles altamente diferenciados lo que implica la consideración de una formación en competencias docentes basada en el desarrollo incremental de los componentes caracterizados.

Las categorías operativas de los componentes (gestión de la información y la comunicación, gestión del aprendizaje y la participación y gestión del conocimiento y la curaduría de contenido) se relacionan con las TIC, TAC y TEP. En este orden de ideas es posible concebir planes de desarrollo profesoral según el tipo de componente de gestión que se pretenda desarrollar. No se profundizó en las características de la muestra (programa formativo, edad entre otros) con lo cual, una investigación subsecuente pretende hacer una relación de estas características con los componentes para identificar la incidencia de éstas en la competencia digital docente profundizando en la relación encontrada para las Figuras 1 a 3.

Referencias

- Agreda, M., Hinojo, M. y Sola, J. (2016). Diseño y validación de un instrumento para evaluar la competencia digital de los docentes en la educación superior española. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 49, 39-56.

- Alaminos Chica, A., Francés García, F. J., Penalva Verdú, C., & Santacreu Fernández, Ó. A. (2015). *Análisis multivariante para las Ciencias Sociales I. Índices de distancia, conglomerados y análisis factorial*. Ecuador: PYDLOS Ediciones.
- Cabezas, M., Casillas, S. & Pinto, A.M. (2014). Percepción de los alumnos de Educación Primaria de la Universidad de Salamanca sobre su competencia digital. EDUTEC, *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 48, 1-14.
- Casillas, S., Cabezas, M, Sanches-Ferreira, M., Teixeira, F. (2018). Estudio psicométrico de un cuestionario para medir la competencia digital de estudiantes universitarios (CODIEU). *EKS*, 19(3), 69-81.
- Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J. (2006). Análisis y resolución de casos-problema mediante el aprendizaje colaborativo. En: A. Badia (coord.). Enseñanza y aprendizaje con TIC en la educación superior [monográfico en línea]. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 3(2).
- Cuéllar, O., García, D., Villarreal, J., Gallego, D., Echeverri, C. y Henao, C. (2019). Digital attitude in university teachers and emerging factors: a case study in the colombian context for the implementation of MOOC courses type. *9 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Coimbra, Portugal, 2019, pp. 1-6.
- Edelhard C. (2015). Educating Teachers for the New Millennium? Teacher training, ICT and digital competence. *Nordic Journal of Digital Literacy*, 10, 138-154.
- Fernández, J.C., Fernández, M.C., & Cebreiro, B. (2016). Desarrollo de un cuestionario de competencias en TIC para profesores de distintos niveles educativos. Pixel-Bit, *Revista de Medios y Educación*, 48, 135-148.
- Flores, C. & Roig, S. (2016). Diseño y validación de una escala de autoevaluación de competencias digitales para estudiantes de Pedagogía. Pixel-Bit, *Revista de Medios y Educación*, 48, 209-224.
- González-Martínez, J., Esteve-Mon, F., Larraz, V., Espuny, C., y Gisbert, M. (2018). INCOTIC 2.0. Una nueva herramienta para la autoevaluación de la competencia digital del alumnado. Profesoradp. *Revista de curriculum y formación del profesorado*, 22(4) 133-152.
- IBM Corp. (2015). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY.
- Korucu, A.T., Yücel, A., Gündogdu, M.M. & Gençtürk, T. (2015). Examination the Digital Competence of Teacher Candidates in Terms of Different Variables. Participatory Educational Research, Special Issue 2, 47-52.
- Maderick, J.A., Shaoan, Z., Hartley, K. & Marchand, G. (2015). Preservice Teachers and Self-Assessing Digital Competence. *Journal of Educational Computing Research*, 0(0), 1-26. doi: <https://doi.org/10.1177/0735633115620432>
- Martín, D., Sáenz, M., Santiago, R. & Chocarro, E. (2016). Diseño de un instrumento para evaluación diagnóstica de la competencia digital docente: formación flipped classroom. *Revista Didáctica, Innovación y Multimedia*.

- Mork, F. & Krumsvik, R.J. (2016). Prepared to teach ESL with ICT? A study of digital competence in Norwegian teacher education. *Computers & Education*, 97, 1-20.
- Pascual-Sevillano, M. A. Ortega-Carrillo, J. A., Fombona-Cadavieco, J. y Pérez-Ferra, M. (2017). Diseño y validación de un cuestionario sobre la percepción de la competencia digital en estudiantes de 1º curso del grado de educación primaria. En J. Ruiz-Palmero, J. Sánchez-Rodríguez, S y E. Sánchez Rivas (Coords). *Innovación docente y uso de las TIC en educación: Las TIC en la formación, desarrollo de competencias, otras metodologías*. Málaga: Ed. Universidad de Málaga, pp.1-11.
- Rambousek, V., Stipek, J. & Vanková, P. (2016). Contents of digital literacy from the perspective of teachers and pupils. *Procedia*, 217, 354-362.
- Samaja, J. (2012). *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba.
- Silva, J., Miranda, P., Gisbert, M., Morales, J. y Onetto, A. (2016). Indicadores para evaluar la competencia digital docente en la formación inicial en el contexto Chileno – Uruguayo. *RELATEC*.15(3), 55-67.
- Torres, T. & Vidal, M.A. (2015). Percepción de estudiantes y empleadores sobre el desarrollo de competencias digitales en la educación superior. *Revista de Educación*, 367, 63-90.
- Tourón, J., Martín, D., Navarro Asensio, E., Pradas, S. e Íñigo, V. (2018). Validación de constructo de un instrumento para medir la competencia digital docente de los profesores (CDD). *Revista Española de Pedagogía*, 76(269), 25-54. doi: <https://doi.org/10.22550/REP76-1-2018-02>
- UNESCO. (2008). *Estándares de competencia en TIC para docentes*. Londres: UNESCO.

Factores Críticos para la Adopción del Comercio Electrónico en Pymes de Turismo

Sussy Bayona-Oré^{1,2}, Romy Estrada²

sbayonao@hotmail.com, romymryli@gmail.com

¹Universidad Autonoma del Perú, Panamericana Sur Km 16.3, Villa El Salvador, Lima

²Universidad San Martín de Porres, Av. La Fontana 1250. Urb. Santa Patricia, La Molina

Pages: 961–971

Resumen: Las Pymes constituyen la mayoría de las empresas, emplean el mayor número de trabajadores del sector manufacturero y de servicios, y pueden beneficiarse del comercio electrónico. Sin embargo, el índice de adopción del comercio electrónico en las Pymes es bajo, en comparación con la adopción del comercio electrónico en las grandes empresas. El objetivo de este estudio es determinar los factores críticos que condicionan la adopción del comercio electrónico en las Pymes, mediante la revisión de literatura. Los resultados de la revisión muestran que existen factores organizacionales, individuales, tecnológicos y ambientales que propician la adopción del comercio electrónico. Los factores mencionados con mayor frecuencia en los estudios son: la presión de agentes externos, la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida, la preparación de la organización, y las habilidades, conocimiento y experiencia en Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) de los empleados.

Palabras clave: e-commerce; factores; turismo; adopción

Critical Factors to Adoption of Electronic Commerce in Tourism SMEs

Abstract: SMEs make up the majority of companies and employ the largest number of workers in the manufacturing and services sector and can benefit from e-commerce. However, the adoption rate of electronic commerce by SMEs is low compared to the adoption of electronic commerce by large companies. The objective of this study is to determine the critical factors that condition the adoption of electronic commerce by reviewing the literature. The results show that there are organizational, individual, technological and environmental factors. Among the factors that are frequently mentioned in the studies are external pressure, perceived utility, Perceived ease-of-use, the preparation of the organization, and the experience, knowledge and skills in Information and Communication and Technology (ICT) of the staff.

Keywords: e-commerce; factors; tourism; adoption

1. Introducción

El sector manufacturero y de servicios están constituidos por las Pymes, que comprenden la mayor cantidad de trabajadores y de empresas. Las Pymes son consideradas los primeros proveedores de oportunidades de trabajo (Matsinhe y Kabanda, 2019). Las Pymes se pueden beneficiar del incremento de productividad gracias al comercio electrónico (Organización Mundial del Comercio, 2013). Sin embargo, el índice de adopción de comercio electrónico en las Pymes, especialmente en países en desarrollo, es bastante bajo en comparación con la adopción en las grandes empresas (Rahayu y Day, 2015). La mayoría de las Pymes desconocen cómo una inversión en comercio electrónico podría beneficiar sus negocios y proveerles del soporte que necesitan para alcanzar las metas deseadas (Gharegozi et al., 2011, citado en Al-Alawi y Al-Ali, 2015).

La adopción del comercio electrónico difiere de un país a otro. Por un lado, se presenta algunos obstáculos, tales como: la diferencia de culturas, la carencia de infraestructura financiera, la carencia de un marco legal para su desarrollo, las diferencias de filosofía comercial, la seguridad e integridad de los procesos de pago, y la falta de capacidad técnica, deben ser superados (Organización Mundial del Comercio, 2013). Por otro lado, los bajos costos de los servicios de Internet y las facilidades que puedan proveer los gobiernos para el acceso de las Pymes al comercio electrónico motivan a las empresas a adoptar esta tecnología (Solaymani, Sohaili y Yazdinejad, 2012). El interés de los gobiernos por la adopción del comercio electrónico, especialmente en Pymes, se evidencia con la implementación de políticas, regulaciones y programas de asistencia que favorezcan la adopción de esta tecnología (Rahayu y Day, 2015).

El comercio electrónico ha pasado de ser un catálogo de productos o servicios, para convertirse en un medio eficiente de realizar negocios, con “un fuerte crecimiento a nivel global, tanto en volumen de usuarios como de sitios comerciales” (Observatorio eCommerce y Transformación digital, 2015). Entre las ventajas del comercio electrónico podemos mencionar: la reducción de los costos por transacción, el incremento de la velocidad y la eficiencia de las operaciones. Aún hay espacio significativo para el crecimiento en mercados en desarrollo donde muchos usuarios de Internet aún no están comprando online.

Una característica del comercio electrónico es la oportunidad y la promesa que éste encierra para que las Pymes turísticas puedan extender sus capacidades y crecer. El turismo representa el 9% del PBI Mundial, 1 de cada 10 empleos son generados por el sector turismo. Además de ser fuente de ingresos de los países en desarrollo, es un actor principal del comercio que va de la mano del aumento de la diversificación y de la competencia entre los destinos (Organización Mundial de Turismo, 2013). En el caso peruano, “el turismo es el segundo sector de exportación no tradicional, solamente superado por las exportaciones del sector agropecuario” (PromPerú, 2015). En consecuencia, es importante estudiar como las pymes turísticas adoptan el comercio electrónico.

Los estudios enfocados en Pymes de países en desarrollo son escasos (Rahayu y Day, 2015) y la mayoría de los estudios están enfocados en grandes empresas y en países

desarrollados (Williams, Dwivedi, Lal, y Schwarz, 2009, citado en Rahayu y Day, 2015). En cuanto al sector turismo, existen pocos estudios sobre comercio electrónico en empresas pequeñas de turismo, considerando su importancia para la sociedad y la economía (Lama, Pradhan y Shrestha, 2019).

Diversos estudios sostienen que la adopción del comercio electrónico en las Pymes está condicionada por un conjunto de factores (Matsinhe y Kabanda, 2019; Villa, Ruiz, Valencia y Picón, 2018; Aboelmaged, 2014). El propósito de este artículo es identificar, mediante la revisión de literatura, los factores que condicionan la adopción de comercio electrónico en las Pymes. Así también identificar las categorías utilizadas para clasificar los factores que han sido propuestos en los estudios identificados.

El artículo ha sido estructurado en 5 secciones que incluye la introducción. La Sección 2 presenta los trabajos relacionados a los factores para la adopción de comercio electrónico en Pymes. La Sección 3 presenta los factores críticos identificados mediante la revisión de literatura. En la Sección 4 se presenta la discusión de resultados. Finalmente, en la Sección 5 se presenta las conclusiones.

2. Trabajos Relacionados

Le et al. (2012) sostienen que los factores para la adopción de comercio electrónico en las Pymes son: el conocimiento de comercio electrónico por parte de los empleados, los recursos de la empresa, el tamaño de la empresa, la actitud de los gerentes hacia la innovación, la intensidad de la competencia, el apoyo de las industrias, el apoyo del gobierno, el comportamiento de los proveedores y compradores, y la compatibilidad de la innovación.

Kenneth et al. (2012) encontraron una influencia significativa del estilo de liderazgo de los gerentes, los recursos disponibles, la infraestructura, la competitividad y el posicionamiento, en la adopción de comercio electrónico por las Pymes de turismo, además, de la edad y el nivel de educación de las personas.

Hajli et al. (2012) concluyen que los factores: el readiness (empleados de TIC, Infraestructura TIC, penetración de Internet) o preparación organizacional, y el awareness influyen en la adopción del comercio electrónico. Mientras que Rahayu y Day (2015), encontraron que los factores que influyen positivamente en la adopción del comercio electrónico por las Pymes son: los beneficios percibidos, el readiness o preparación tecnológica, la capacidad de innovación del dueño, la habilidad y experiencia en TIC del dueño, de los cuales, son los factores individuales los que juegan el rol más importante en la adopción de comercio electrónico.

Al-Alawi y Al-Ali (2015) concluyen que los factores que tienen mayor importancia para la adopción de comercio electrónico en las Pymes son: el apoyo de la alta gerencia, los beneficios percibidos y las regulaciones del gobierno. Mientras que factores como la competitividad organizacional, los recursos financieros y la complejidad percibida presentaron un bajo nivel de importancia.

En otro estudio, se identificaron los siguientes factores: uso previo de TIC en el personal de la empresa, la existencia de políticas nacionales que apoyen el comercio electrónico, el tamaño de los negocios, el nivel de madurez en la implementación de TIC en organizaciones, la provisión de recursos financieros y tecnológicos para el proceso de implementación, la presión externa para ser parte de este tipo de comercio, y la posibilidad de asistencia externa (asesoría y soporte) para implementar plataformas de comercio electrónico (Villa, Ruiz, Valencia y Picón, 2018).

Lama, Pradhan y Shrestha (2019) concluyen que entre los predictores de barreras de adopción del comercio electrónico se encuentran: la falta de una adecuada infraestructura y la falta de recursos. Como motivadores claves mencionan los factores: la fuerza del mercado, awareness, propuesta de valor, y el rol del dueño o de la alta dirección.

Matsinhe y Kabanda (2019) sostienen que aspectos como las características del administrador, experiencia previa en comercio electrónico, la fuerza del mercado internacional y compartir experiencias, condicionan la adopción del comercio electrónico. Dahbi y Benmoussa (2019) mencionan como factores a los costos de implementación, los costos de logística, los recursos financieros y la transparencia de precios; entre los factores externos mencionan el apoyo del gobierno, la regulación de aduanas, presión de los competidores, presión de los clientes y de los proveedores.

2.1. Categorización de los Factores en la Adopción del Comercio Electrónico

Además de conocer los factores, es importante conocer como los diversos autores han clasificado dichos factores. A continuación, se presenta algunos trabajos relacionados a la categorización de los factores condicionantes de la adopción de comercio electrónico en Pymes.

El modelo propuesto por Al-Alawi y Al-Ali (2015), proporciona un modelo teórico de factores tecnológicos, ambientales y organizacionales. Le et al. (2012) realizan una adaptación del framework Tecnología, Organización y Ambiente (TOE) y proponen un meta-modelo TOE extendido de factores externos e internos.

Rahayu y Day (2015) incorporaron el contexto individual como factor que influye en la adopción de comercio electrónico por las Pymes, además de los factores tecnológicos, los factores organizacionales y los factores ambientales. El contexto tecnológico del modelo de Rahayu y Day (2015) incluyen: el beneficio percibido, la compatibilidad percibida y el costo. Los factores tecnológicos considerados en el modelo de Al-Alawi y Al-Ali (2015) son: los beneficios y la complejidad percibida. El modelo de Le et al. (2012) considera que los factores relacionados con las características de la tecnología son: la actitud hacia el comercio electrónico y la actitud hacia la innovación.

El contexto organizacional del modelo de Rahayu y Day (2015) está referido a las características de la organización que podrían influenciar en la adopción de tecnologías de comercio electrónico tales como el readiness o preparación tecnológica y el tamaño de la organización. Al-Alawi y Al-Ali (2015) mencionan como factores organizacionales: el soporte de la alta gerencia, los recursos financieros y la competencia o competitividad organizacional. Mientras que para Le et al. (2012) los factores son: el tamaño de la empresa, la estructura y cultura, los recursos, la orientación estratégica y el conocimiento de los empleados.

El contexto ambiental del modelo de Rahayu y Day (2015) se refiere a las influencias externas, por mencionar: la presión de los clientes y proveedores, la presión de los competidores y el soporte externo. El único factor ambiental considerado en el modelo de Al-Alawi y Al-Ali (2015) está relacionado con las regulaciones del gobierno. Le et al. (2012) consideran en esta categoría: a las políticas gubernamentales, los factores culturales, la economía, la infraestructura y la auto-eficacia.

El contexto individual del modelo de Rahayu y Day (2015) está referido a las características individuales del dueño o gerente de la organización que podrían influenciar en la adopción de tecnologías de comercio electrónico, tales como: la capacidad de innovación del dueño, la experiencia y habilidades en TIC del dueño. Al respecto, Le et al. (2012) incorpora en esta categoría las características del gerente como: la actitud hacia tomar riesgos, el entusiasmo, el apoyo y la cultura. El modelo planteado por Matsinhe y Kabanda (2019) consideran dos categorías para agrupar los factores: eReadiness organizacional percibido y eReadiness externo percibido.

3. Factores Críticos para la Adopción de Comercio Electrónico

Para identificar los factores críticos en la adopción de comercio electrónico se realizó la revisión de literatura. Como resultado se identificaron 22 artículos que tratan sobre los factores que condicionan la adopción del comercio electrónico en Pymes (véase Tabla 1).

Nro.	Autor/Año	Título
S1	Abbasi et al. (2010)	CSFs of e-commerce admission in small and medium size enterprises (SMEs).
S2	AlGhamdi et al. (2010)	Factors Influencing E-Commerce Adoption by Retailers in Saudi Arabia: A Quantitative Analysis.
S3	Hajli et al. (2012)	E-Commerce Pre-Adoption Model For SMEs In Developing Countries.
S4	Kenneth et al. (2012)	Factors Affecting Adoption of Electronic Commerce among Small Medium Enterprises in Kenya: Survey of Tour and Travel Firms in Nairobi.
S5	Saffu et al. (2012)	Perceived Strategic Value and e-Commerce Adoption among SMEs in Slovakia.
S6	Taylor y Eshun (2012)	Factors Affecting Internet and e-Commerce Adoption among Small and Medium-Sized Enterprise Non-Traditional Exporters: Case Studies of Ghanaian Handicraft Exporters.
S7	Frasquet et al. (2012)	Factores determinantes y consecuencias de la adopción del comercio electrónico B2C: Una comparativa internacional.
S8	Le et al. (2012)	An empirical Study of Determinants of E-commerce Adoption in SMEs in Vietnam an economy in transition.
S9	Iddris (2012)	Adoption of E-Commerce Solutions in Small and Medium-Sized Enterprises in Ghana.
S10	Mohd et al. (2012)	Determinants of electronic commerce adoption in Malaysian SMEs' furniture industry.
S11	Ardjouman (2014)	Factors Influencing Small and Medium Enterprises (SMEs) in Adoption and Use of Technology in Cote d'Ivoire.

Nro.	Autor/Año	Título
<i>S12</i>	Al-Alawi y Al-Ali (2015)	Factors Affecting E-commerce Adoption in SMEs in the GCC: An Empirical study of Kuwait.
<i>S13</i>	Ochola (2015)	An Empirical Study of Determinants of E-Commerce Adoption amongst Micro, Small and Medium Enterprises (MSMES) in Kenya.
<i>S14</i>	Rahayu y Day (2015)	Determinant Factors of E-commerce Adoption by SMEs in Developing Country: Evidence from Indonesia.
<i>S15</i>	Chee et al. (2016)	Understanding the Determinants of e-Commerce Adoption: Evidence from manufacture Sector in West Malaysia.
<i>S16</i>	Syah et al. (2016)	Factors Affecting the Use of e-Commerce in Creative Industries: Empirical Evidences from SMES in Jabodetabek-Indonesia.
<i>S17</i>	Villa, Ruiz, Valencia y Picón (2018)	Electronic Commerce: Factors Involved in its Adoption from a Bibliometric Analysis.
<i>S18</i>	Carvalho y Mamede (2018)	The impact of e-commerce on the success of microenterprise retail sector of the Pinhal Interior Norte sub-region of Portugal.
<i>S19</i>	Matsinhe y Kabanda (2019)	E-Commerce Institutionalisation in Mozambique: Enablers and Barriers.
<i>S20</i>	Dahbi y Benmoussa (2019)	What Hinder SMEs from Adopting E-commerce? A Multiple Case Analysis.
<i>S21</i>	Lama, Pradhan y Shrestha (2019)	An e-Tourism Adoption Model & Its Implications for Tourism Industry in Nepal.
<i>S22</i>	Walker, Saffu y Mazurek (2016)	An Empirical Study of Factors Influencing E-Commerce Adoption/ Non-Adoption in Slovakian SMEs.

Tabla 1 – Lista de artículos identificados

En cuanto a la categorización de los factores, solo algunos autores han clasificado los factores. La Tabla 2 muestra la nomenclatura asignada a cada categoría para clasificar los factores identificados. En algunos casos no se utilizó ningún tipo de clasificación por lo que se usó la nomenclatura “N” para indicar que “No se hizo categorización de factores en el estudio”.

Nomeclatura	Categoría	Nomenclatura	Categoría
<i>N</i>	Sin clasificación	<i>IN</i>	Infraestructura
<i>T</i>	Tecnológica	<i>CG</i>	Características del Gerente
<i>A</i>	Ambiental	<i>RO</i>	Readiness Organizacional
<i>O</i>	Organizacional	<i>EO</i>	e-Readiness Organizacional
<i>I</i>	Individual	<i>EE</i>	e-Readiness Externa
<i>C</i>	Conocimiento	<i>CU</i>	Cultural
<i>SC</i>	Socio-Cultural	<i>E</i>	Económica
<i>SE</i>	Socio-Económico	<i>VP</i>	Ventaja Percibida
<i>G</i>	Gobierno	<i>AI</i>	Ambiente de la Industria
<i>S</i>	Seguridad	<i>F</i>	Financieros

Tabla 2 – Categorías de factores en la literatura

Se realizó un mapeo de factores según la referencia bibliográfica, la categoría que usa cada autor y la frecuencia con la que aparece cada factor en la literatura. Los autores usan diferente terminología para referirse al mismo factor por lo que se agrupó y se renombró aquellos factores relacionados entre sí. Se seleccionaron los factores con frecuencia igual o mayor a cuatro. Cada uno de estos factores tiene una categoría predominante que luego será contrastada con las dimensiones del Framework TOE extendido. En la Figura 1 se presenta la lista de los factores identificados (con frecuencia mayor a 2).

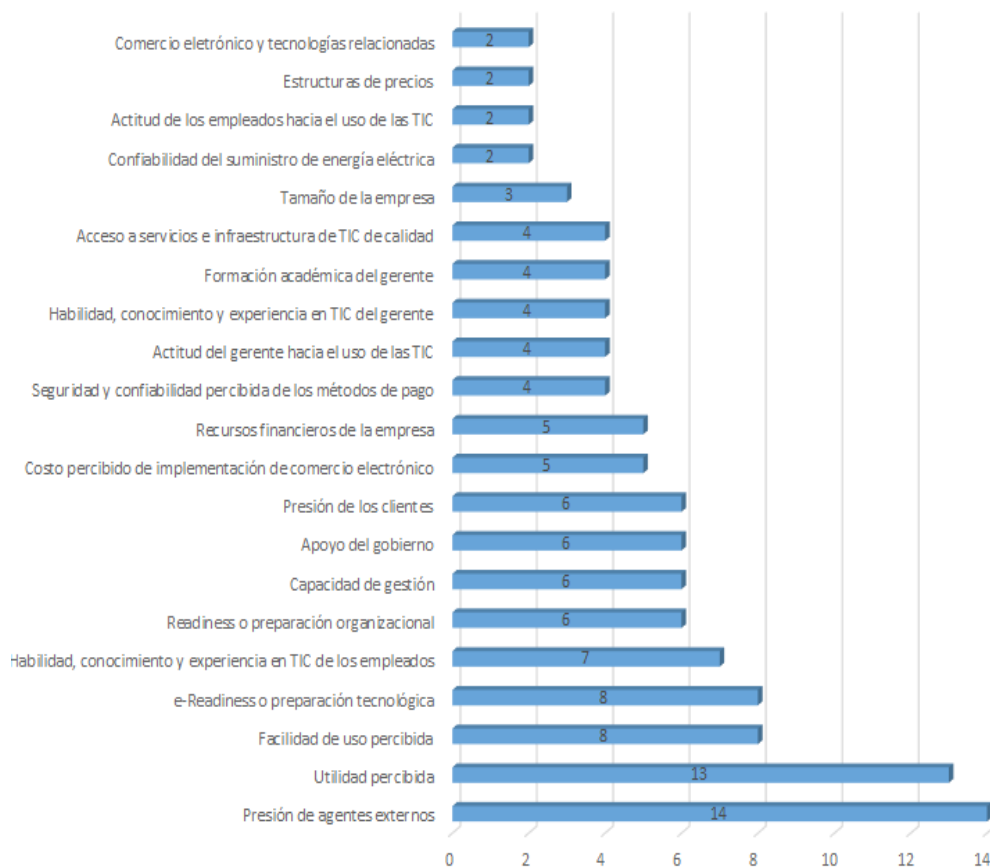


Figura 1 – Lista de factores identificados en la literatura

En la Tabla 3 se presenta los factores (con frecuencia mayor a 4) y las categorías asignadas en los estudios.

Factor	Categorías en los estudios
Presión de agentes externos	A(4), E, EE
Utilidad percibida	T(3), VP, O (2), EO

Factor	Categorías en los estudios
Facilidad de uso percibida	T (2), VP, O, EO
e-Readiness o preparación tecnológica	O, EO
Habilidad, conocimiento y experiencia en TIC de los empleados	O (3), C, T
Readiness o preparación organizacional	RO, EE
Capacidad de gestión	O (3), EE
Apoyo del gobierno	A(2), E
Presión de los clientes	A, T
Costo percibido de implementación de comercio electrónico	F, O
Recursos financieros de la empresa	O, F
Seguridad y confiabilidad percibida de los métodos de pago	T (2)
Actitud del gerente hacia el uso de las TIC	I, CG, EO; CU
Habilidad, conocimiento y experiencia en TIC del gerente	I (2)
Formación académica del gerente	O, EO
Acceso a servicios e infraestructura de TIC de calidad	A(2)

Tabla 3 – Categorías de factores según la literatura

En la Tabla 4 se presenta la propuesta de categorización de los factores identificados. La columna *frecuencia* representa las veces que el factor ha sido mencionado en los estudios identificados. La columna *categoría según la literatura* es la categoría que presenta mayor frecuencia en los estudios. La columna *categoría propuesta* representa la categoría asignada.

TOE ha sido aplicado en diferentes formas y con diferentes grados de especificidad en la identificación y descripción de sus principales constructos (Le et al., 2012). La utilidad del modelo está representada por la forma en que los constructos de alto nivel son racionalizados o descritos por las variables que los investigadores han elegido para probar. En esta investigación, se resalta además de las dimensiones Tecnológica, Organización y Ambiente, la dimensión Individual.

Código	Factor	Frecuencia	Categoría según literatura	Categoría propuesta
DT_1	Utilidad percibida	13	Tecnológica	Dimensión Tecnológica
DT_2	Seguridad y confiabilidad percibidas de los métodos de pago	4	Tecnológica	Dimensión Tecnológica
DT_3	Facilidad de uso percibida	8	Tecnológica	Dimensión Tecnológica

Código	Factor	Frecuencia	Categoría según literatura	Categoría propuesta
DT_4	Costo percibido de implementación de comercio electrónico	5	Organizacional	Dimensión Tecnológica
DO_1	e-Readiness o preparación tecnológica	8	e-Readiness Organizacional	Dimensión Organizacional
DO_2	Capacidad de gestión	6	Organizacional	Dimensión Organizacional
DO_3	Readiness o preparación organizacional	6	Readiness Organizacional	Dimensión Organizacional
DA_1	Presión de agentes externos	14	Ambiental	Dimensión Ambiental
DA_2	Presión de los clientes	6	Ambiental	Dimensión Ambiental
DA_3	Apoyo del gobierno	6	Ambiental	Dimensión Ambiental
DA_4	Acceso a servicios e infraestructura de TIC de calidad	4	Ambiental	Dimensión Ambiental
DI_1	Habilidad, conocimiento y experiencia en TIC de los empleados	7	Organizacional	Dimensión Individual
DI_2	Habilidad, conocimiento y experiencia en TIC del gerente	4	Individual	Dimensión Individual
DI_3	Actitud del gerente hacia el uso de TIC	4	Características del Gerente	Dimensión Individual
DI_4	Formación académica del gerente	4	Organizacional	Dimensión Individual

Tabla 4 – Categorías propuestas para los factores identificados según frecuencias

4. Discusión

Diversos países desarrollados han implementado políticas, regulaciones y programas de asistencia orientadas a que las Pymes adopten el comercio electrónico (Rahayu y Day, 2015). Los efectos de la implementación exitosa de Internet, especialmente en las empresas más pequeñas (con bajos recursos) son enormes y esenciales (Chong, Pervan y Bauer, 2001, citado en Al-Alawi y Al-Ali, 2015). Sin embargo, el desconocimiento de los beneficios que ofrece el comercio electrónico limita la toma de decisiones de invertir en comercio electrónico (Gharegozi et al., 2011, citado en Al-Alawi y Al-Ali, 2015) y como resultado están rezagadas en comparación con las grandes empresas en el uso y adopción de comercio electrónico.

La adopción del comercio electrónico está condicionado por un conjunto de factores críticos y su adopción en las Pymes es aún incipiente debido a sus características: limitaciones de capacidades gerenciales, influencia del propietario, falta de formación del personal, ausencia de personal especializado en TIC, resistencia a la toma de riesgos, problemas de información y financiamiento, inadecuado uso de la tecnología y una marcada intención de evitar el uso de software sofisticado (Abor y Quartey, 2010). Estas características hacen que las Pymes presenten más dificultades que las grandes empresas (Abor y Quartey, 2010). Neale et al. (2006), citado en Poorangi et al. (2013), sostienen que, las Pymes

que han adoptado comercio electrónico pueden ganar ventajas estratégicas como: la integración interna y externa de sus procesos, relaciones cercanas con sus clientes y otros dueños de negocios, influenciar el crecimiento del mercado para ganar recursos externos e incrementar la experiencia de crecimiento y desarrollo de negocios.

Todas las organizaciones, sin importar su tamaño y el alcance de su operación, están enfrentando varios desafíos competitivos. Para hacer frente a este fenómeno, los gerentes están cambiando la dirección de sus respectivas organizaciones hacia el comercio electrónico (Poorangi et al., 2013). Las características genéricas organizacionales y de innovación son fuertes predictores de la adopción de tecnologías de información tanto por individuos como por organizaciones (Jeyaraj, Rottman y Lacity, 2006, citado en Wang y Hou, 2012). Según Rogers (1995), citado en Wang y Hou (2012), la adopción es una decisión para hacer uso completo de una innovación como el mejor curso de acción, mientras que el rechazo es una decisión para no adoptar una innovación que se encuentra disponible. Aspectos como las habilidades, conocimiento y experiencia en TIC son forman parte de la categoría individual.

5. Conclusiones

Diversos factores condicionan la adopción de comercio electrónico en las Pymes. Los factores críticos han recibido diferentes categorizaciones de acuerdo con la literatura. De esta forma, la adopción está condicionada por factores tecnológicos, organizacionales, factores ambientales y factores individuales. No existe consenso de los diferentes autores para categorizarlos. El factor presión de agentes externos es el factor que es mencionado en los estudios, con mayor frecuencia. Le siguen en importancia: la utilidad percibida, la preparación tecnológica de la Pyme y las habilidades, conocimiento y experiencia en TIC de los empleados. Como trabajo futuro se desarrollará un modelo para evaluar la relación que existe entre estos factores y la adopción del comercio electrónico por las pymes de turismo.

Referencias

- Aboelmaged, M. (2014). Predicting e-readiness at firm-level: An analysis of technological, organizational and environmental (TOE) effects on e-maintenance readiness in manufacturing firms. *International Journal of Information Management*, 34(5), 639–651.
- Al-Alawi, A., Al-Ali, F. (2015). Factors Affecting E-commerce Adoption in SMEs in the GCC: An Empirical study of Kuwait. *Research Journal of Information Technology*, 7(1), 1-21.
- Dahbi y Benmoussa (2019). What Hinder SMEs from Adopting E-commerce? *Procedia Computer Science* 158, 811–818.
- Hajli, M., Bugshan, H., Hajli, M., Kalantari, A. (2012). E-Commerce Pre-Adoption Model For SMEs In Developing Countries. *Proceedings of the 2012 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government*.

- Kenneth, W., Macharia, N. R., Ayodo, E. M. A. (2012). Factors Affecting Adoption of Electronic Commerce among Small Medium Enterprises in Kenya: Survey of Tour and Travel Firms in Nairobi. *International Journal of Business, Humanities and Technology* 2 (4), 76-91.
- Lama S., Pradhan S., Shrestha A. (2019). An e-Tourism Adoption Model & Its Implications for Tourism Industry in Nepal. In: Pesonen J., Neidhardt J. (eds) *Information and Communication Technologies in Tourism* 2019. Springer, Cham.
- Le, V., Rowe, F., Truex, D., Huynh, M. (2012). An empirical Study of Determinants of E-commerce Adoption in SMEs in Vietnam an economy in transition. *Journal of Global Information Management*, 20(3), 1-35.
- Matsinhe F. Kabanda, S. (2019). E-Commerce Institutionalisation in Mozambique: Enablers and Barriers. P. Nielsen and H. C. Kimaro (Eds.): ICT4D 2019, IIFIP AICT 551, 140-151.
- Observatorio eCommerce y Transformación Digital. (2015). Cómo crece el Comercio Electrónico en el Mundo. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de <http://observatorioecommerce.com/como-crece-el-comercio-electronico-en-el-mundo>.
- Organización Mundial del Comercio. (2013). El Comercio Electrónico En Los Países En Desarrollo. Oportunidades Y Retos Para Las Pequeñas Y Medianas Empresa. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial del Turismo. (2013). Por qué el Turismo. OMT. Recuperado el 9 de mayo de 2015, de <http://www2.unwto.org/es/content/por-que-el-turismo>.
- Poorangi, M. M., Khin, E. W. S., Nikoonejad, S., Kardevani, A. (2013). E-commerce adoption in Malaysian mayol and Medium Enterprises Practitioner Firms: A revisit on Rogers' model. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 85(4), 1593-1604.
- PromPerú. (2015). Perfil del Vacacionista Nacional 2014. El Turismo en Cifras. Lima, Perú. Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo.
- Rahayu, R., Day, J. (2015). Determinant Factors of E-commerce Adoption by SMEs in Developing Country: Evidence from Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 142-150.
- Solaymani, S., Sohaili, K., Yazdinejad, E.A. (2012). Adoption and use of e-commerce in SMEs, *Electron Commer Res*, 12(3), 249-263.
- Villa, Ruiz, Valencia y Picón (2018). Electronic Commerce: Factors Involved in its Adoption from a Bibliometric, *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce*, 13(1), 39-70
- Wang, H., Hou, J. (2012). Factors Affecting E-commerce Adoption and Implementation in Small and Medium-Sized Enterprise. *International Journal of Digital Content Technology and its Application*, 6(7), 167-173.

Factores Críticos de Aceptación de la Intención de Uso del Efectivo Móvil

Sussy Bayona-Oré^{1,2}, Lizet Leyva²

sbayonao@hotmail.com, lizet2901@gmail.com

¹Universidad Autónoma del Perú, Dirección de Investigación, Panamericana Sur Km 16.3, Villa El Salvador, Lima, Perú

²Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Unidad de Posgrado FISI, Av. Amezaga s/n, Lima, Perú

Pages: 972–980

Resumen: En este artículo se presenta un modelo de aceptación de la intención de uso del Efectivo Móvil. El Efectivo Móvil surge como una solución tecnológica que permite a las empresas bancarias alentar a sus clientes el envío de dinero desde un teléfono celular. El modelo seleccionado fue Technology Acceptance Model (TAM). La propuesta incluye tres factores que fueron adicionados al modelo TAM: Estilo de vida, Confianza percibida y Riesgo y Seguridad. Un cuestionario de 27 ítems fue aplicado a 406 clientes de dos entidades bancarias peruanas. Se utilizó el Análisis Factorial Confirmatorio para evaluar las hipótesis planteadas. La Confianza Percibida, la Facilidad de Uso y la Seguridad son facilitadores del uso del Efectivo Móvil.

Palabras-clave: Efectivo Móvil; TAM; modelo de aceptación tecnológica

Critical Factors of Acceptance of the Intention to Use Mobile Cash

Abstract: This paper presents an acceptance model of the intention to use Mobile Cash. Mobile Cash emerges as a technological solution that allows banking companies to encourage their customers to transfer money while using their mobile phones. The model selected was TAM (Technology Acceptance Model). The proposal includes three factor such as Lifestyle, Perceived Confidence and Risk and Security. A questionnaire with 27 items was applied to 406 clients from two Peruvian banks. The Confirmatory Factor Analysis was used to evaluate the hypothesis. The Perceived Confidence, Ease of use and Security are enablers of Mobile Cash use.

Keywords: Mobile Cash; TAM; Technology Acceptance Model

1. Introducción

Los niveles, aún bajos, de inclusión financiera en el Perú (Andina, 2019) y la masificación de celulares han permitido que las diversas organizaciones del sector bancario diseñen nuevos productos y servicios con el propósito de atender los nuevos requerimientos de

los usuarios. Los bancos han redefinido la forma de hacer negocios y planteado nuevas formas de negocio electrónico. De esta forma existe interés del sector bancario de acercar a los clientes ofreciéndoles nuevos productos y servicios financieros y de esta forma simplificar los trámites de los usuarios.

La experiencia de los clientes del sector bancario, respecto a las transferencias, se ha mejorado con la incorporación de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC). Un servicio que ofrece la banca para la transferencia de dinero es el Efectivo Móvil. Mediante este servicio los clientes de una entidad bancaria pueden transferir efectivo, utilizando mensajes de texto, a personas que se encuentran fuera del sistema financiero. Sin embargo, la adopción de este nuevo servicio está condicionado por un conjunto de factores.

La introducción del servicio Efectivo Móvil, para el envío de dinero, haciendo uso de un dispositivo móvil, requiere de un estudio sobre la percepción sobre su uso. En este estudio se pretende conocer cómo se relacionan entre si los factores que condiciona la intención de uso del Efectivo Móvil. Al respecto, diversos estudios que se han conducido sobre los factores que condicionan la aceptación de la banca móvil, dinero electrónico, bitcoin, etc., resaltan la influencia de estos y la necesidad de contrarrestarlos, bajo una propuesta de solución que permita acercar a más clientes al uso de los productos ofrecidos por el sector bancario. Diversas experiencias sobre la aceptación de la banca móvil han sido reportadas, entre ellos podemos mencionar estudios sobre (1) la intención de adoptar servicios de banca móvil (Sahar & Arshian, 2015), (2) análisis de los factores en la aceptación de la banca móvil: facilidad de uso, innovación personal y las normas subjetivas (Hossein, 2015) y (3) análisis del factor seguridad en la intención de adoptar la banca por internet (Laforet & Li, 2005).

Este artículo consta de 5 secciones que incluye la introducción. La Sección 2 presenta los trabajos relacionados a los factores. En la Sección 3 se describe la metodología utilizada. En la Sección 4 se describe los principales resultados. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones.

2. Fundamentación teórica

La incorporación de las TIC, como medio para promover la inclusión financiera, es clave para impulsar la prosperidad de un país. Contar con servicios financieros por telefonía móvil hace posible un mayor acceso, incluso en lugares alejados. La telefonía móvil se ha convertido en un elemento clave que permite a las organizaciones, en especial la banca a proponer nuevos servicios apoyados en TIC. Estas propuestas tienen que tomar en cuenta que su adopción esta condicionada por un conjunto de factores que deben ser tomados en cuenta. El comportamiento de las personas a quienes va dirigido estos nuevos productos y como lo adoptan, es de interés de diversos investigadores.

La aceptación de nuevas tecnologías ha dado lugar a diversos modelos de aceptación tecnológicas. En 1986 se propone el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM). TAM fue planteada por Davis (1986) como una propuesta modificada del TRA (Teoría de Acción Razonada). El propósito de este modelo es predecir la intención, conducta o aceptación de uso de las tecnologías por las personas (Gentry & Calantone, 2002). El modelo TAM recoge del TRA los factores que influyen en el uso y aceptación de los sistemas de información (Davis, 1989). La Figura 1 muestra el modelo TAM.

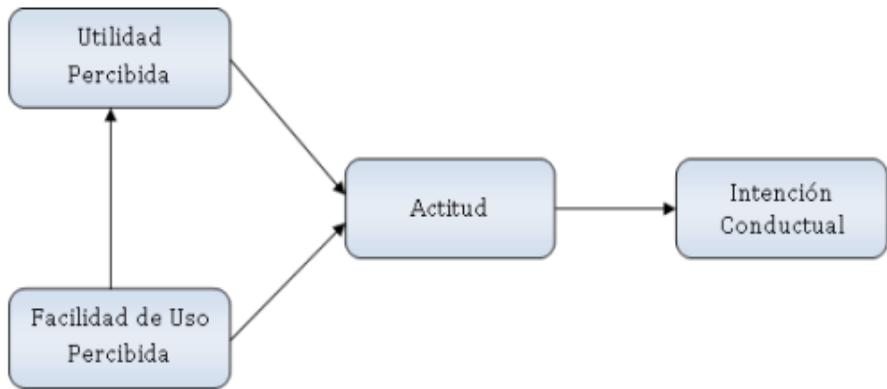


Figura 1 – Modelo TAM inicial (Davis, 1986)

Entre los constructos (en adelante factores) de TAM se encuentran la “Utilidad percibida” y la “Facilidad de Uso percibida”. La primera está relacionada con el grado en el que una persona cree que usar un sistema contribuirá en el rendimiento en el trabajo (Davis, 1989). Una persona que concibe que el sistema le es beneficioso para concluir con sus tareas, es posible que acepte el sistema y minimice la resistencia. La segunda está más relacionada con los aspectos de calidad de un sistema como la usabilidad, es decir, que el sistema sea intuitivo, de total entendimiento e intuitivo (Davis, 1989).

En general, se puede decir que TAM ha ido cambiando en el tiempo en diferentes etapas desde su formulación inicial. El modelo revisado de TAM se presenta en la Figura 2.

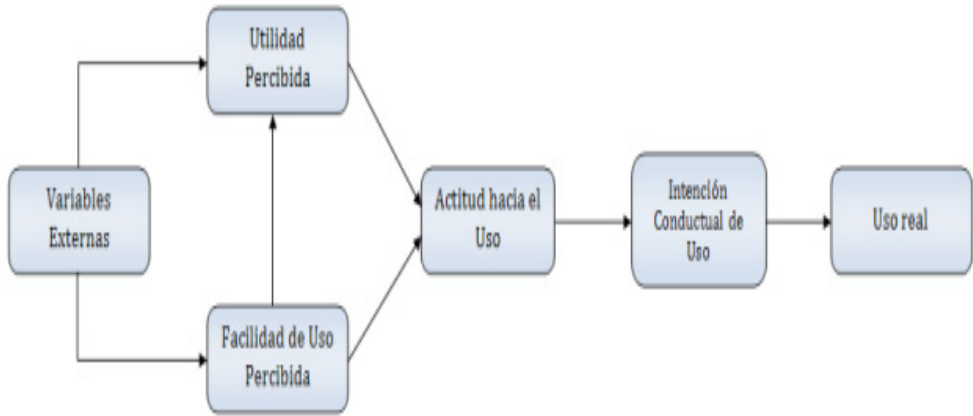


Figura 2 – Modelo TAM revisado (Davis, 1989)

2.1. Factores que influyen en la intención de uso del efectivo móvil

Utilidad Percibida

La Utilidad Percibida influye directamente en la Intención de Uso (Szajna, 1996). Mientras que la “Utilidad Percibida y la Facilidad de Uso tienen efecto directo e indirecto sobre la intención de la conducta” (Venkatesh & Davis, 2000). Koenig-Lewis, Palmer & Moll (2010) en un estudio sobre la percepción de riesgo en el uso de banca móvil encontraron una relación positiva entre la Utilidad Percibida y la Intención de Uso. Se plantean las hipótesis:

- *Hipótesis 1a: la Utilidad Percibida tiene efecto directo sobre la Intención del Uso del Efectivo Móvil.*
- *Hipótesis 1b: la Utilidad Percibida tiene efecto directo sobre el Riesgo y Seguridad Percibida del Efectivo Móvil.*
- *Hipótesis 1c: la Utilidad Percibida del Efectivo Móvil tiene efecto directo sobre el Estilo de Vida del cliente.*

Riesgo y Seguridad percibida

El riesgo y la seguridad percibida han sido considerados como razones para no utilizar el dinero electrónico (Jebran & Dipanker, 2012). Estos factores afectan la forma de como los clientes perciben las actividades bancarias. Así mismo la Facilidad de Uso percibida, la privacidad y la seguridad también fueron identificados como factores en la banca electrónica. La hipótesis que se plantea es:

- *Hipótesis 2: El Riesgo y Seguridad Percibida tiene un efecto directo en la Confianza Percibida.*

Facilidad de uso

La Facilidad de uso, referida al uso del sistema sin requerir mayor esfuerzo, por que es intuitivo, está relacionado con la intención de usar la tecnología. Existe una relación entre la facilidad de uso de la tecnología y la intención de usarlo, el cual afecta el comportamiento orientado a la Intención de Uso (Wessels & Drennan, 2010). Se plantean las hipótesis:

- *Hipótesis 3a: Facilidad de Uso percibida de usar Efectivo Móvil afecta directamente en la Utilidad Percibida.*
- *Hipótesis 3b: Facilidad de Uso percibida de usar Efectivo Móvil afecta directamente hacia una Actitud hacia el Uso.*

Estilo de vida compatible

Cuando los servicios de banca móvil responden a las necesidades de los clientes y están de acuerdo con su estilo de vida, decimos que existe compatibilidad. Es decir, existe relación entre la intención de uso y la compatibilidad (Koenig-Lewis, Palmer & Moll, 2010). De esta manera, la posibilidad de adopción de una tecnología está en función del grado de compatibilidad con los deseos y las necesidades de las personas. En este sentido, se fórmula la siguiente hipótesis:

- *Hipótesis 4: El Estilo de Vida compatible tiene un impacto directo sobre la Intención de Uso del Efectivo Móvil.*

Confianza percibida

Existe relación entre la confianza percibida y el riesgo. Ambas han sido identificadas como barreras al adoptar un servicio móvil, debido a que la confianza del cliente, en los servicios, es importante para que finalmente decida utilizarlo. La confianza se ha definido como la tendencia a confiar en un socio de negocios que es capaz de generar confianza. En este sentido, se formula la siguiente hipótesis:

- *Hipótesis 5: La Confianza Percibida tiene un efecto directo sobre la Intención del Uso del Efectivo Móvil.*

Actitud hacia el uso

La actitud influye en el comportamiento de las personas (Sommer, 2011). La aceptación o el rechazo de una tecnología está influenciado por la actitud de los clientes. La actitud hacia el comportamiento de una persona explica la intención del uso. En tal sentido se formula la siguiente hipótesis:

- *Hipótesis 6: La Actitud hacia el Uso del Efectivo Móvil tendrá una influencia positiva en la Intención de Uso.*

3. Metodología

La investigación es de tipo cuantitativa y transversal. Existen diferentes enfoques para el estudio de los clientes: los bancarizados, los no bancarizados, los que hacen uso del Smartphone y los que utilizan un celular básico. La unidad de análisis es el cliente del banco. Los clientes pertenecen a dos bancos peruanos ubicados en la ciudad de Lima. La población del Banco 1 fue de 4'186,616 y del Banco 2 fue 1'300,000. El tamaño de la muestra para el Banco 1 y el Banco 2 fueron 203 personas. Se diseñó un instrumento con preguntas cerradas y se utilizó la escala de Likert (Bayona & Leyva, 2016) de cinco elementos. Se diseñó un instrumento que consta de 27 preguntas cerradas, con el propósito de evaluar la percepción y actitud de los clientes sobre el servicio de Efectivo Móvil. En la Tabla 2 se presenta los valores obtenidos para el Alpha de Cronbach.

Factores	Alpha de Crombach	Nro de items
Utilidad Percibida (UP)	0.801	8
Riesgo y Seguridad (RS)	0,669	5
Intención de Uso (IU)	0.779	3
Estilo de Vida (EV)	0,803	3
Confianza Percibida (CP)	0,834	3
Facilidad de Uso (FU)	0,694	3
Actitud hacia el Uso (AU)	0,732	2

Tabla 1 – Fiabilidad de la escala de Cronbach

Los coeficientes Alpha de Cronbach para los factores de interés, según ítems evaluados, oscilaron entre 0,7 y 0,9; es decir, son aceptables. En la Figura 3 se presenta el modelo propuesto.

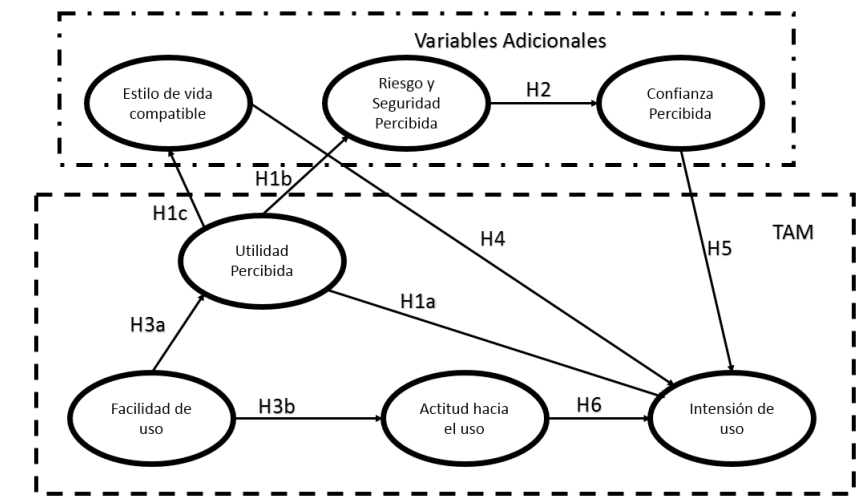


Figura 3 – Aceptación Tecnológica del servicio Efectivo Móvil

4. Resultados

En la Tabla 2, se presenta los resultados del modelo de estimaciones de causalidad - SEM Final. En la columna variables observadas se presenta los ítems del cuestionario. En la columna “Factor Loading” de la Tabla 2 se presenta los valores de las cargas factoriales (valores mayores o iguales a 0,60). En la columna “AVE” de la Tabla 2 se presenta el valor de la media de la varianza extraída (valores mayores o iguales a 0.50). Los resultados del análisis, de tipo descriptivo, de los factores en estudio se presentan en un estudio previo (Bayona & Leyva, 2016).

Factores	Variables observadas	Factor Loading	Loading Squared	AVE
<i>Utilidad Percibida (UP)</i>	UP1	0,6	0,4	0,5
	UP2			
	UP3	0,7	0,4	
	UP4	0,8	0,7	
	UP5			
	UP6	0,7	0,4	
	UP7			
	UP8	0,8	0,6	

Factores	Variables observadas	Factor Loading	Loading Squared	AVE
<i>Riesgo y Seguridad Percibida (RS)</i>	RS1			0,5
	RS2	0,8	0,7	
	RS3	0,6	0,3	
	RS4			
	RS5			
<i>Intención de Uso (IU)</i>	IU1	0,8	0,6	0,6
	IU2	0,8	0,7	
	IU3	0,6	0,4	
<i>Estilo de Vida (EV)</i>	EV1	0,7	0,5	0,6
	EV2	0,7	0,5	
	EV3	0,8	0,7	
<i>Confianza Percibida (CP)</i>	CP1	0,8	0,6	0,6
	CP2	0,8	0,7	
	CP3	0,8	0,6	
<i>Facilidad de Uso (FU)</i>	FU1	0,9	0,8	0,5
	FU2	0,7	0,5	
	FU3	0,6	0,3	
<i>Actitud hacia el Uso (AU)</i>	AU1			
	AU2			

Tabla 2 – SEM final

En la Tabla 3 se presenta los resultados de la prueba de hipótesis (hipótesis aceptadas).

Hipótesis	Coefficiente de regresión	p-valor	Resultado
<i>H1a: UP-> IU</i>	0,085	0,148	Se acepta
<i>H1b: RS-> UP*</i>	0,060	0,320	Se acepta
<i>H1c: EV-> UP*</i>	0,049	0,405	Se acepta
<i>H2: RS -> CP</i>	0,005	0,937	Se acepta
<i>H3a: FU-> UP</i>	0,159	0,012	Se acepta
<i>H5: CP-> IU</i>	0,000	0,995	Se acepta

Tabla 3 – Resultados de la prueba de hipótesis

Las hipótesis H1a, H1b, H1c, H2, H3a y H5 fueron aceptadas mientras que H3b, H4 y H6 no fueron aceptadas. Con estos resultados se plantea el modelo final de aceptación tecnológica del Efectivo móvil (H1b, H1c). De acuerdo con el modelado de ecuaciones estructurales para la aceptación del Efectivo Móvil, el factor que más influye es la percepción de la utilidad del sistema en sus transacciones. Por otra parte, el factor

influyente sobre la Utilidad Percibida del servicio móvil es la Facilidad del Uso del sistema. La percepción del riesgo y la seguridad tiene impacto en la Confianza Percibida. La Confianza Percibida tiene un efecto directo en la intención de los clientes a adoptar el Efectivo Móvil. Los clientes significativamente propensos a adoptar el Efectivo Móvil percibirán: (1) que el Efectivo Móvil hace su transferencia más rápida, (2) se ahorra tiempo, y (3) que se puede usar en cualquier lugar. Los entrevistados consideran utilizar su propio equipo para utilizar el Efectivo Móvil con seguridad (Bayona & Leyva, 2016).

Este estudio presenta limitaciones ya que no puede generalizar los resultados. Es necesario hacer estudios de tipo longitudinal para revisar el avance. Así también considerar la variable cultura relacionado con la predisposición de las personas para adoptar nuevos servicios y productos que ofrece el sector bancario.

5. Conclusiones

La incorporación de las TIC en el sector bancario ha traído consigo que los bancos redefinan la forma de hacer negocios y ofrezcan nuevas formas de negocio electrónico. El incremento de usuarios con acceso a la telefonía móvil propicia un mayor acceso de las personas a estos productos y servicios, lo que permite la inclusión financiera. Entre estos servicios se encuentra el Efectivo Móvil, para realizar transferencias en efectivo desde un teléfono celular. Con el propósito de determinar la intención de uso de este producto, se plantea un modelo basado en TAM, con la incorporación de tres factores: Confianza percibida, Riesgo y seguridad percibida y Estilo de vida compatible. Luego de aplicar el análisis factorial confirmatorio se comprobó que la Utilidad Percibida tiene impacto en la intención de un cliente a usar el Efectivo Móvil, sin embargo, no tiene efecto directo sobre el Riesgo y seguridad percibida. La Confianza Percibida está relacionado con el Riesgo y Seguridad percibida, además de tener influencia directa en la Intención de Uso del Efectivo Móvil.

Referencias

- Andina (2019). <https://andina.pe/agencia/noticia-politica-inclusion-financiera-contempla-atencion-zonas-sin-cobertura-bancaria-761256.aspx>.
- Bayona, S. & Leyva, L. (2016). Acceptance of the intended use of the cash mobile,” *2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Las Palmas, 2016, pp. 1-6.
- Davis, F. (1986). A Technology Acceptance Model for empirically testing new end-user information systems: theory and results. Ph.D. Doctoral dissertation, Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology.
- Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319-340.
- Davis, F., Bagozzi, R. & Warshaw, P. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.
- Gentry, L. & Calantone, R. (2002). A comparison of three models to explain shop-bot use on the Web. *Psychology & Marketing*, 19 (11), 945-956.

- Hossein, M. (2015). A study of mobile banking usage in Iran. *International Journal of Bank Marketing*, 33(6), 733-759.
- Jebran, K. & Dipanker, A. (2012). Consumer's Perception on General Banking Activities of Commercial Banks: A Study in the Banking Context of Bangladesh. *European Journal of Business and Management*, 4 (7), 54-70.
- Koenig-Lewis, N., Palmer, A. & Moll, A. (2010). Predicting young consumers' take up of mobile banking services. *International Journal of Bank Marketing*, 28 (5), 410-432.
- Laforet, S. & Li, X. (2005). Consumers' attitudes towards online and mobile banking in China. *International Journal of Bank Marketing*, 23(5), 362-380.
- Sahar, A. & Arshian, S. (2015). Acceptance of mobile banking framework in Pakistan. *Telematics and Informatics*, 33(2), 370-387.
- Sommer, L. (2011). The Theory of Planned Behaviour And The Impact Of Past Behaviour. *International Business & Economics Research Journal*, 10(1), 91-110.
- Szajna, B. (1996). Empirical Evaluation of the Revised Technology Acceptance Model. *Management Science*, 42 (1), 85-92.
- Venkatesh, V. & Davis, F.D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186-204.
- Wessels, L. & Drennan, J., (2010). An investigation of consumer acceptance of Mobile Banking. *International Journal of Bank Marketing*, 28 (7), 547-568.

Viabilidad de las redes neuronales en la detección de objetos

Carlos Santiago Rojas Moreno¹, Cristian Alexander Bravo¹, Jeisson Steven Rincon¹
Carlos Enrique Montenegro-Marín¹, Paulo Alonso Gaona-Gracias¹

csrojasm@correo.udistrital.edu.co, cabravor@correo.udistrital.edu.co, jsrinconm@correo.udistrital.edu.co, cemonenegrom@udistrital.edu.co, pagaonag@udistrital.edu.co

¹ Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá D.C, Colombia.

Pages: 981–1000

Resumen: Los sistemas informáticos y la inteligencia artificial son herramientas que van de la mano, las cuales son ahora íntimamente dependientes para los progresos de investigación y de uso para el avance de las tecnologías en la globalización. El reconocimiento por medio de una inteligencia artificial entrenada es un medio viable en el cual podemos aplicar e implementar sus usos para múltiples tareas que requieran de un seguimiento arduo y constante de una gran cantidad de procesos que obtenemos en un corto periodo de tiempo. Periodo que, con las tecnologías que anteriormente se han estado implementando, no se logra abarcar el margen de recolección de datos y de eficiencia en el procesamiento de la información obtenida en tiempo de ejecución. Así que, esta inteligencia artificial correctamente entrenada es un medio óptimo de posibilidades para la implementación en el seguimiento constante de procesos en la supervisión de seguridad en cámaras de vigilancia.

Palabras-clave: Redes neuronales; Reconocimiento; Visión Artificial; Seguridad; Vigilancia.

Viability of neural networks in object detection

Abstract: Computer systems and artificial intelligence are tools that go hand in hand, which are now intimately dependent on the progress of research and use for the advancement of technologies in globalization. The recognition through a trained artificial intelligence is a viable medium in which we can apply and implement its uses for multiple tasks that require an arduous and constant monitoring of a large number of processes that we obtain in a short period of time. Period that, with the technologies that have been previously implemented, it is not possible to cover the margin of data collection and efficiency in the processing of information obtained at runtime. So, this correctly trained artificial intelligence is an optimal means of possibilities for the implementation in the constant monitoring of processes in security surveillance in surveillance cameras.

Keywords: Neural network; Recognition; Vision; Security; Vigilance

1. Introducción

El incremento potencial que ha tenido la tecnología sumado al manejo de las redes neuronales artificiales, ha traído paradigmas hacia la búsqueda de un modelo de entrenamiento hacia la inteligencia artificial, el cual pretende optar por modelos que llegan a detectar objetos de manera eficiente y con los mínimos requerimientos en procesos y demora de tiempo. Para ello se estudiarán diferentes lenguajes de programación en los cuales es usual el uso y la implementación de estas tecnologías, en conjunto a modelos conocidos a entrenar y previamente entrenados los cuales se les pedirán que cumplan trabajos de reconocimiento a distintos tipos de objetos.

Los modelos de entrenamiento y ejecución en la que se aplican las redes neuronales artificiales, las iremos proponiendo y estableciendo sus características ligadas al lenguaje de programación y estas serán comparadas y relacionadas entre unos determinados puntos en los cuales se aplican y adaptan a los modelos entrenados en los sistemas abiertos de complejidad creciente.

2. Trabajos Relacionados y Revisión Literaria

2.1. Trabajos Relacionados

Artificial Intelligence to Impart Surveillance, Tracking, & Actuation on Suspicious Activities (Bhattacharjee & Somashekhar, 2017) Publicado por Surajit Bhattacharjee y G.C. Somashekhar nos describe cómo se puede aplicar la detección de amenazas sospechosas en la India por medio de un sistema de reconocimiento en un artefacto o dispositivo similar a un dron o pajarero volador. Este labora de manera que pueda dirigirse y monitorear zonas riesgosas, analizando el comportamiento de los gente sospechosa y realizando notificaciones a tiempo de ejecución.

Profile Face Recognition using Local Binary Patterns with Artificial Neural Network (Salyut & Kurnaz, 2019) Afirman que los sistemas de reconocimiento robustos lo cuales albergan inteligencia artificial, tienen siempre una capacidad limitada, que el trabajo por aumentar los índices de eficacia y rendimiento, es necesario un estudio por patrones de reconocimiento a lo cual se debe optar por herramientas capacitadas. Se estudia de cómo una imagen captada se puede desglosar por subregiones de reconocimiento y ello caracterizaría por partes la imagen en la cual se pueden llegar a reconocer una mayor cantidad de patrones, lo cuales favorecen enormemente al funcionamiento de la red neuronal.

A Deep Learning Facial Expression Recognition based Scoring System for Restaurants: Relatan que el comercio y los lugares automatizados pretenden aplicar las redes neuronales y el reconocimiento de patrones en los gestos de los clientes para llevar una mejor respuesta en atención y experiencia en el servicio. En el cual ponen a prueba reconocimientos en patrones de gestos de respuesta de las personas para observar sus grados de comportamiento en dichos establecimientos.

Artificial Intelligence Techniques Used to Detect Object and Face in an Image (Deepika, Chauhan, & Narayan, 2018) Nos muestran que la inteligencia artificial y el desarrollo de un sistema debe ser capacitado para trabajar en el entorno al cual se

le presenten tareas de reconocimiento, y es exactamente de lo que trata este trabajo relacionado, en explicado algunos algoritmos de detección que son adaptativos y ágiles que recomiendan como puede ser el “Edge detection”, los cuales manejan procesos robustos y de gran eficiencia para el reconocimiento enfocado a la inteligencia artificial.

Identity Recognition Using an Artificial Intelligence Based on Artificial Immune System (Da Silva, Lima, Lotufo, & Batista, 2015) Consta de una trazabilidad en modelamiento de reconocimiento 3D o 4D correspondientes al tiempo del componente en la cuarta dimensión. Esto lo logran por medio de un método de reconocimiento a través de una inteligencia artificial basada en un sistema inmune de selección negativa. La cual cuenta con un resultado para sistema robusto y fiable.

2.2. Revisión Literaria

2.2.1. Visión Artificial

Con la eminente innovación tecnológica y el surgimiento de nuevas técnicas, surge la idea de generar y/o realizar un sistema capaz de aprender y desarrollar aquellas labores que se relacionan con la inteligencia humana, siendo una de estas la capacidad de analizar información visual (Moeslund & Granum, 2001).

Dando de esta forma origen a la conocida “inteligencia artificial” y a un sin fin de aplicaciones y estudios sobre esta, teniendo en cuenta que una tarea relativamente sencilla para el humano presenta una gran dificultad para un computador (Vogler, 2016).

El proceso de visión artificial se asemeja bastante a la visión humana (Poppe, 2010), teniendo una información de entrada otorgada por la cámara, siendo esta información una imagen que se puede trabajar como una matriz de puntos y/o píxeles (Restrepo & Abril, 2007), donde cada uno de estos tiene un valor correspondiente a una función $f(x,y)$ con x y y representando las coordenadas y f denotando características como: intensidad, brilla, RGB e.t.c..

Sin embargo previo a analizar las imágenes obtenidas, se debe considerar fallos que puedan traer estas imágenes (Stauffer & Grimson, 1999):

- Escalas de las imágenes
- Fallas del sistema de adquisición de imágenes
- Iluminación
- Pérdidas en el flujo de información

A su vez deben ser definidos criterios que entreguen una técnica adecuada:

- Filtrado
- Manejo de características del espacio del color
- Distribución de la información en la imagen

2.2.2. Aplicación de la visión artificial

El progreso que ha tenido todo lo relacionado al concepto de visión artificial a transformado esta en una herramienta eficaz en campos como:

- Medicina: Permite la mejora de imágenes para interpretar partes médicos, detectar patologías, manejo de imágenes microscópicas (Cho, Chao, Lin, & Chen, 2009).
- Industria: Posee una gran cantidad de campos de acción, pero en su mayoría orientados al control de calidad (Kartinen, Hätönen, Hyötyniemi, & Miettunen, 2006) .
- Robótica: Quizás el campo de mayor proyección a futuro, buscando la generación de robots capaces de realizar como localizar objetos, reconocer formas, evadir obstáculos e interactuar con las personas (Chella, Liotta, & MacAluso, 2007).
- Vigilancia/Seguridad: Siendo un campo de continua innovación, se ha orientado la investigación a la detección de personas/objetos, identificación de patrones y/o comportamientos y monitoreo de espacios públicos (Nash, Carter, & Nixon, 2013).

2.2.3. Aplicación del diseño

El modelo a trabajar está basado en un dataset compuesto de 3 grupos de imágenes acerca de objetos (armas blancas, armas de fuego y cortapernos), la cual se encuentra en constante crecimiento y actualización.

Se utiliza un modelo general donde se pasa por una etapa de entrenamiento y funcionamiento de acuerdo al lenguaje seleccionado para trabajar.

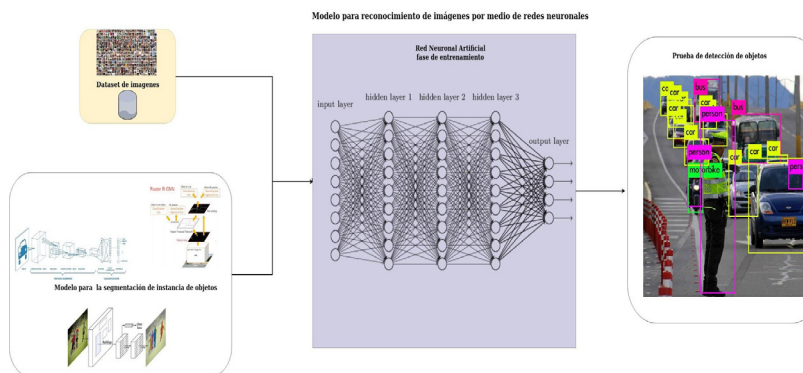


Figura 1 – Modelo para reconocimiento de objetos por medio de redes neuronales artificiales.
Fuente: Elaboración propia

3. Selección de entorno

3.1. JAVA

Es el lenguaje de programación por popularidad y favoritismo, hacia los entornos y aplicaciones que requieren interacción cliente / servidor. Viablemente útil al momento del desarrollo para multiplataforma, este provee una amplia gama de características que permiten una gran facilidad de uso y un gran carácter de posibilidades de desarrollo que

ha venido progresando durante estos últimos años. Al ser un lenguaje de programación que depende de un paso intermedio, es decir, de una interacción de máquina virtual, este no se recomienda para usos de aplicativos para un solo sistema concreto, además de ser dependiente de dicha máquina virtual, al momento de realizar procesos que requieran de gran agilidad, este proceso podría ralentizarse por dicha causa.

Pero no todo en cuestión de agilidad de procesos es malo a la hora de referirnos a este lenguaje de programación, contaremos también de las principales características en las que es viable su uso y aprovechamiento.

- Fácil uso en la sintaxis e interfaz.
- Es un lenguaje orientado a objetos.
- Control multitarea gracias al mecanismo de ejecución por hilos.
- Fácil para detectar errores de sintaxis y de ausencia de librerías en el programa (puede detectar que librerías faltan).
- Presenta una gran gama y variedad de posibilidades hacia el entorno gráfico y web.

Entonces conociendo un poco acerca de las propiedades y alcances con los cuales podemos aprovechar de este lenguaje de programación, daremos paso a qué herramienta es usada para el desarrollo de la inteligencia artificial aplicada al reconocimiento.

OpenCV: Es una librería de software libre utilizada comúnmente para el reconocimiento y detección de objetos en la cual ofrece más de 2500 algoritmos basados en machine learning en los cuales son aplicados para la visión artificial. En los cuales podemos clasificar una gran variedad de objetos, entrenarlos y poder llegar a desarrollar una red neuronal entrenada según las características que se deseen. Además de JAVA, OpenCV tiene también funcionalidad en otros lenguajes de programación, como lo es Python y C++ y compatibilidad con Windows, Linux, MAC y android. El medio de detección es por medio de edge detection algorithm, que consta de la tomar la imagen por segmentos formando líneas las cuales son mucho más fáciles al momento del reconocimiento. Estas pueden ser procesadas de tal manera que, bajo un análisis matricial se pueden detectar de manera sencilla los patrones que por los cuales la red neuronal debidamente entrenada intentará reconocer.

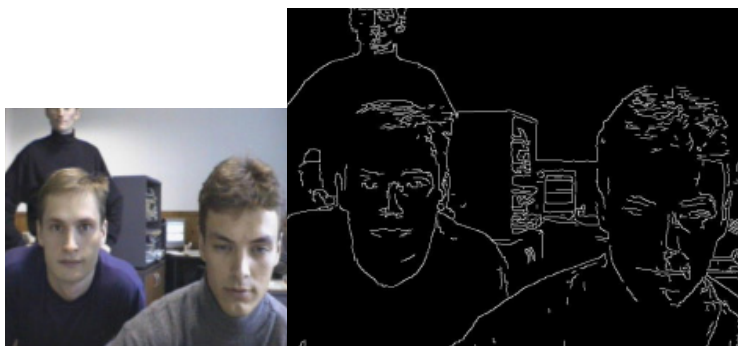


Figura 2 – Demostración del modelo el algoritmo edge detection

Ahora, OpenCV tiene un entrenamiento funcional ligado a la herramienta de “Cascade Classifier Training” el cual presenta un comportamiento de entrenamiento por reconocimiento de bloques, en el cual obtenemos una salida de archivo en un formato “eXtensible Markup Language”, en el que queda un modelado desglosado de las imágenes por las cuales maneja la herramienta para obtener un autoaprendizaje por medio de la detección de patrones que presenten una relación objetiva de clasificación, el funcionamiento de la toma de patrones por cada imagen.

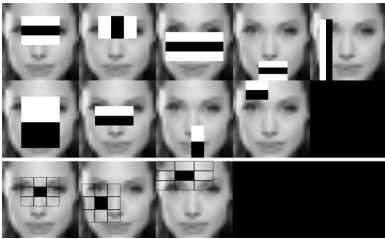


Figura 3 – Modelo visual por “Cascade Classifier Training”, imagen recuperada de: https://docs.opencv.org/trunk/dc/d88/tutorial_traincascade.html

```
===== TRAINING 10-stage =====
<BEGIN
POS count : consumed 1900 : 1909
NEG count : acceptanceRatio 900 : 0.00118292
Precalculation time: 18.116

+-----+-----+-----+
| N | HR | FA |
+-----+-----+-----+
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 |
| 3 | 0.999474 | 0.75 |
| 4 | 1 | 0.768889 |
| 5 | 0.999474 | 0.748889 |
| 6 | 1 | 0.735556 |
| 7 | 0.999474 | 0.627778 |
| 8 | 0.999474 | 0.624444 |
| 9 | 0.999474 | 0.398889 |
+-----+-----+-----+
END>
```

Figura 4 – Modelo de entrenamiento por “Cascade Classifier Training” imagen recuperada de: <https://stackoverflow.com/questions/16058080/how-to-train-cascade-properly>

3.2. MATLAB

Matlab es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio.

Esta posibilidad a trabajar cuenta con la herramienta Deep Learning Toolbox, la cual proporciona un marco para diseñar e implementar redes neuronales profundas

con algoritmos, modelos entrenados y aplicaciones; puede utilizar redes neuronales convolucionales y redes de memoria a largo plazo par realizar la clasificación y regresión en imagenes, series temporales y datos de texto.

A pesar de contar con esta y muchas mas herramientas para trabajar cuenta con una delimitación para trabajar este tipo de redes convolucionales, ya que para su empleo se debe contar con una serie de de imágenes que cuenten con el mismo tamaño y resolución; por lo cual el dataset presente no cuenta con estas características para emplear este tipo de red.

```
layers = [
    imageInputLayer([288 352 3])

    convolution2dLayer(3,16,'Padding',1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer

    maxPooling2dLayer(2,'Stride',2)

    convolution2dLayer(3,32,'Padding',1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer

    maxPooling2dLayer(2,'Stride',2)

    convolution2dLayer(3,64,'Padding',1)
    batchNormalizationLayer
    reluLayer

    fullyConnectedLayer(4)
    softmaxLayer
    classificationLayer];
```

Figura 5 – Etapas de entrenamiento de la red convolucional.

En la orden `imageInputLayer` se indica el tamaño de la imagen con la que trabajara toda la red convolucional. Al no tener un mismo tamaño en las imágenes al intentar entrenar la red esta linea de codigo sera la que genere error y detenga el proceso.

```
>> final
Error using trainNetwork (line 150)
Unexpected image size: All images must have the same size.

Error in final (line 36)
net = trainNetwork(trainDigitData, layers, options);
```

Figura 6 – Respuesta de la red convolucional de MATLAB al entrenamiento con el dataSet establecido.

De esta forma descartando la posibilidad de emplear el lenguaje MATLAB y viendo otras opciones que se adecuen al material actual disponible.

3.3.C Y CUDA

C es un lenguaje de programación cuyas características brindan eficiencias en cuanto al código que produce, además de ser un lenguaje orientado a la implementación de sistemas operativos. Por otro lado, CUDA es una plataforma de cómputo en paralelo que utiliza una variación de C la cual permite realizar códigos que interactúan directamente con la GPU Nvidia (NVIDIA, 2015).

Existen varias redes neuronales artificiales para implementar con C y CUDA, una de ellas es Darknet para utilizarla solo se debe seguir el paso a paso de <https://pjreddie.com/darknet/>, dicha red utiliza modelos pre-entrenados llamados YOLO, existen varias versiones de dicho modelo, para esta investigación se utilizará YOLOv3-320.

3.3.1. YOLOv3-320

Este modelo lo podemos encontrar en la página oficial del mismo o simplemente digitando el siguiente comando en linux

```
$ wget https://pjreddie.com/media/files/yolov3.weights
```

La red neuronal y el modelo ya vienen pre-entrenados para reconocimiento de 78 objetos los cuales son (Redmon & Farhadi, 2018):

Person, bicycle, car, motorcycle, airplane, bus, train, truck, boat, traffic light, fire hydrant, stop_sign, parking meter, bench, bird, cat, dog, horse, sheep, cow, elephant, bear, zebra, giraffe, backpack, umbrella, handbag, tie, suitcase, frisbee, skis, snowboard, sports ball, kite, baseball bat, baseball glove, skateboard, surfboard, tennis racket, bottle, wine glass, cup, fork, knife, spoon, bowl, banana, apple, sandwich, orange, broccoli, carrot, hot dog, pizza, donut, cake, chair, couch, potted plant, bed, dining table, toilet, tv, laptop, mouse, remote, keyboard, cell phone, microwave, oven, toaster, sink, refrigerator, book, clock, vase, scissors, teddy bear, hair dryer, toothbrush.

Los resultados brindados son los siguientes:

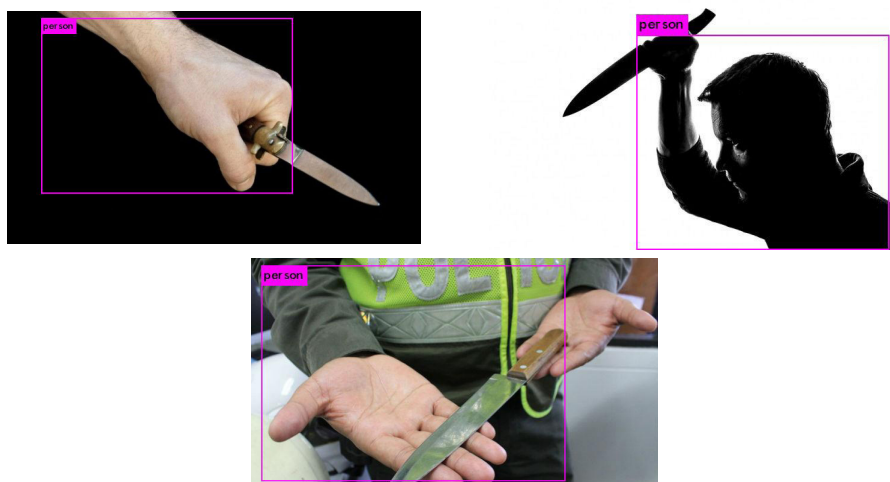


Figura 7 – resultados de la detección de personas con YOLOv3-320

3.4.PYTHON

Siendo uno de los lenguajes de programación interpretado más utilizados a nivel mundial, posee una agilidad para el desarrollo gracias a que cuenta con un intérprete que ejecuta el código; Es útil a la hora de utilizar y probar fragmentos de código; Cuenta con un sin fin de herramientas y facilidad de entendimiento; Es multiplataforma lo que permite que dicho lenguaje pueda ejecutarse en diferentes sistemas operativos y/o computadoras; Cuenta con una basta cantidad de módulos que permiten obtener funcionalidades directamente del standard. Para finalizar posee licencia de código abierto haciendo que sea de las mejores opciones a simple vista (“Wiki PyAr - Python Argentina,” n.d.).

Existen varios modelos pre-entrenados para la segmentación de instancia de objetos para python proveídas por una librería de código abierto llamada TENSORFLOW, por practicidad y facilidad se utilizan dichos modelos, ya que realizar uno desde cero puede llegar a ser una tarea bastante engorrosa.

Específicamente para esta investigación se utiliza el modelo pre-entrenado de TensorFlow llamado Faster R-CNN (Galarza Bravo & Flores, 2018).

3.4.1. Modelo Faster R-CNN

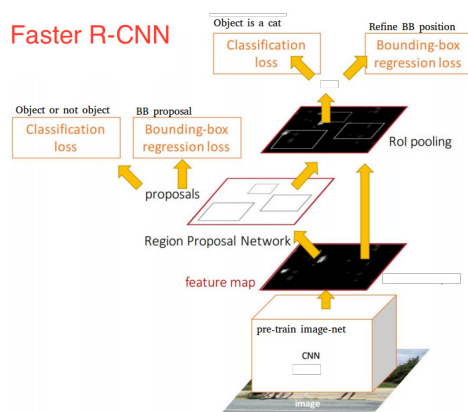


Figura 8 – Modelo Faster R-CNN. Joyce Xu. imagen recuperada de: <https://www.deeplearningitalia.com/uso-del-aprendizaje-profundo-para-el-reconocimiento-de-objetos/>

Este modelo pre-entrenado se puede encontrar en el repositorio oficial de TensorFlow en la sección TensorFlow detection model zoo, específicamente se utilizó el modelo faster_rcnn_resnet101_coco.

Se utilizó para esta prueba 500 imágenes las cuales el 90% fue utilizado para entrenamiento el 10% para comparación y mejora del mismo, cabe recalcar que solo se hizo el entrenamiento para un objeto el cual es ArmaBlanca.

En la fase de entrenamiento:

```

Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
tion of 58982400 exceeds 10% of system memory.
INFO:tensorflow:Recording summary at step 0.
2019-09-17 22:14:53.938009: W tensorflow/core/framework/allocator.cc:124] Alloca
tion of 58982400 exceeds 10% of system memory.
2019-09-17 22:14:53.938008: W tensorflow/core/framework/allocator.cc:124] Alloca
tion of 58982400 exceeds 10% of system memory.
2019-09-17 22:14:54.166915: W tensorflow/core/framework/allocator.cc:124] Alloca
tion of 58982400 exceeds 10% of system memory.
INFO:tensorflow:global step 1: loss = 2.3146 (38.321 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 2: loss = 2.2051 (9.278 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 3: loss = 2.0348 (13.267 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 4: loss = 1.8095 (11.682 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 5: loss = 1.4320 (9.498 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 6: loss = 2.1646 (12.131 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 7: loss = 1.1465 (11.259 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 8: loss = 0.9235 (12.113 sec/step)
INFO:tensorflow:global_step/sec: 0.0678545
INFO:tensorflow:Recording summary at step 8.
INFO:tensorflow:global step 9: loss = 1.1105 (14.278 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 10: loss = 0.7926 (14.428 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 11: loss = 0.7022 (11.719 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 12: loss = 0.6699 (11.500 sec/step)
INFO:tensorflow:global step 13: loss = 0.7779 (11.325 sec/step)

```

Figura 9 – Entrenamiento con tasa de pérdida.

Lo que se busca es que la pérdida (loss) esté por debajo de 1 y que este sea constante, cuando lo obtenemos podemos para el proceso de entrenamiento, para este caso llegó a las ## iteraciones para de dicha pérdida sea baja.

Al probar con diferentes imágenes arroja los siguientes resultados:

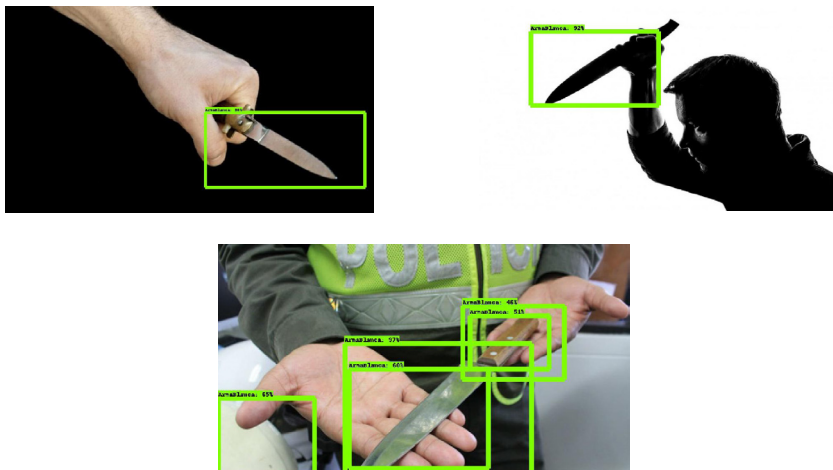


Figura 10 – resultados de la detección de arma blanca con Faster R-CNN

4. Resultados y discusión

	OPEN CV	Tensorflow	Darknet	MATLAB
Lenguaje	C++	Python, C, C++, Rust, Haskell, Go, Java	C y CUDA	MATLAB
Sistema Operativo	Windows, Linux, Android y Mac OS. O	Android, iOS, Mac OS, Windows, Linux, y Raspberry	Windows, Linux y Mac OSX	Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.
Código	Abierto	Abierto	Abierto	Abierto
Red Neuronal	Backpropagation	Convolucional	Convolucional	Convolucional

Tabla 1 – Tabla Taxonómica de cada una de las metodologías empleadas

Detección de objetos por OpenCV: La herramienta debidamente entrenada presenta un resultado en el cual podemos observar que el tiempo en el proceso de ejecución y de la detección del objeto varían respecto al primer proceso en la operación, es decir, sometimos al programa a detectar una imagen y que este la analice un numero determinado de veces, donde en las primeras podemos notar que un poco tiempo más en iniciar el proceso de categorizar la imagen e intentar detectar objetos, luego el tiempo se reduce y parece quedar constante entre los intervalos de análisis de la imagen por la red neuronal.

```

OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 111 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 107 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 97 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 96 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 97 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 97 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 97 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 1
Tiempo de detección: 96 milisegundos

```

Figura 11 – Resultados de tiempos con OpenCV

Mientras que al analizar más objetos, el tiempo de análisis aumenta, pero este parece variar menos en función de procesos.

OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 103 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 108 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 104 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 115 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 109 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 114 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 103 milisegundos
OBJETOS DETECTADOS: 7
Tiempo de detección: 101 milisegundos

Figura 12 – Resultados de tiempos con OpenCV

OpenCV		
número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
1	persona: 95%	0.111111 segundos.
1	persona: 97%	0.107777 segundos.
1	persona: 98%	0.097777 segundos.
1	persona: 100%	0.096666 segundos.
1	persona: 100%	0.097777 segundos.
1	persona: 98%	0.097777 segundos.
1	persona: 100%	0.097777 segundos.
1	persona: 99%	0.096666 segundos.

Tabla 2 – Datos de Resultados primera prueba de JAVA y OpenCV

Promedio porcentaje: 98,375%
Promedio tiempo: 0,10041 segundos

OpenCV		
número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
7	persona: 93%	0.103333 segundos.
7	persona: 91%	0.108888 segundos.
7	persona: 92%	0.104444 segundos.
7	persona: 94%	0.115555 segundos.
7	persona: 97%	0.109999 segundos.
7	persona: 96%	0.114444 segundos.

OpenCV		
número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
7	persona: 94%	0.103333 segundos.
7	persona: 94%	0.101111 segundos.

Tabla 3 – Datos de Resultados segunda prueba de JAVA y OpenCV

Promedio porcentaje: 93,875%

Promedio tiempo: 0,1075 segundos

Sumatoria de los resultados:

Porcentaje: 96.125%

Tiempo: 0.103955 segundos

Variabilidad total en los datos porcentuales:

$$\begin{aligned}
 &(95 - 96.125)^2 + (97 - 96.125)^2 + (98 - 96.125)^2 + (100 - 96.125)^2 + \\
 &(100 - 96.125)^2 + (98 - 96.125)^2 + (100 - 96.125)^2 + (99 - 96.125)^2 + (93 - 96.125)^2 + \\
 &(91 - 96.125)^2 + (92 - 96.125)^2 + (94 - 96.125)^2 + (97 - 96.125)^2 + (96 - 96.125)^2 + \\
 &(94 - 96.125)^2 + (94 - 96.125)^2 = 129.75
 \end{aligned}$$

Grados de libertad de la variabilidad total en los datos porcentuales: $16 - 1 = 15$

Variabilidad debido a diferencias entre tratamientos:

$$(8 * (98.375 - 96.125)^2) + (8 * (93.875 - 96.125)^2) = 81$$

Grados de libertad de variabilidad debido a diferencias entre tratamientos: $2 - 1 = 1$

Variabilidad residual:

$$\begin{aligned}
 &(95 - 98.375)^2 + (97 - 98.375)^2 + (98 - 98.375)^2 + (100 - 98.375)^2 + \\
 &(100 - 98.375)^2 + (98 - 98.375)^2 + (100 - 98.375)^2 + (99 - 98.375)^2 + \\
 &(93 - 98.375)^2 + (91 - 98.375)^2 + (92 - 98.375)^2 + (94 - 98.375)^2 + (97 - 98.375)^2 + \\
 &(96 - 98.375)^2 + (94 - 98.375)^2 + (94 - 98.375)^2 = 48.75
 \end{aligned}$$

Grados de libertad de variabilidad residual: $15 - 1 = 14$

Resultado Test F = 0.7928810

Las características principales que debemos tener en cuenta son:

Al ser un modelo previamente bien entrenado podemos observar estos tiempos de respuesta y detección demoran relativamente poco, esto depende del entrenamiento anticipado hacia la red neuronal y la cantidad de información que esta ha logrado asimilar. Podemos observar que el porcentaje de acierto es alto, ya que toma rangos elevados de probabilidad y da un veredicto fiable según estos índices de criterio, no podemos descartar posibilidades en que el modelo falle y no detecte alguno de los objetos, pero todo esto depende del entrenamiento previo a la red neuronal.

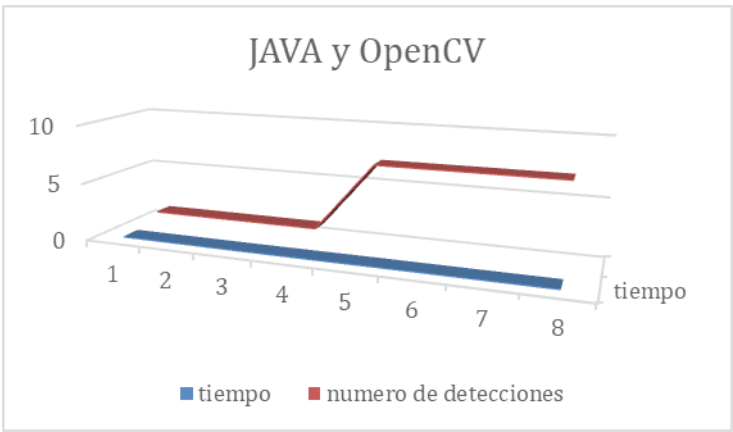


Figura 13 – comparación de tiempos según las detecciones realizadas por JAVA

Además con la figura de comparación que puede notar que este método no varía el tiempo de detección sin importar el número de objetos que deba analizar.

C y CUDA			
resolución	número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
alta	1	persona: 97%	19.629647 segundos.
alta	1	persona: 99%	19.437484 segundos.
normal	1	persona: 100%	19.514273 segundos.
alta	18	bus: 99% bus: 97% motorbike: 98% car: 100% - 58% person: 100%-53%	19.824030 segundos.
media	4	person: 100% person: 100% person: 95% person: 75%	19.493586 segundos.
alta	6	truck: 90% train: 98% person: 100%-94%	19.569450 segundos
baja	0	0	21.436686 segundos

C y CUDA			
resolución	número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
baja	0	0	20.914637 segundos
distorsionada	30	99% - 58%	24.431547 segundos
normal	40	100% - 51%	22.156714 segundos
normal	71	95% - 50%	19.651713 segundos

Tabla 4 – Datos de Resultados de C y CUDA con Darknet

Promedio porcentaje: 96,777%

Promedio tiempo: 20,0346 segundos

Variabilidad total en los datos porcentuales:

$$\begin{aligned}
 &(97 - 96.777)^2 + (99 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + (99 - 96.777)^2 + \\
 &(97 - 96.777)^2 + (98 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + \\
 &(100 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + (95 - 96.777)^2 + (75 - 96.777)^2 + (90 - 96.777)^2 + \\
 &(98 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + (99 - 96.777)^2 + (100 - 96.777)^2 + \\
 &(95 - 96.777)^2 = 617,11
 \end{aligned}$$

Grados de libertad de la variabilidad total en los datos porcentuales: 18-1 = 17

Variabilidad debido a diferencias entre tratamientos:

$$(9 * (98.888 - 96.777)^2) + (9 * (94.666 - 96.777)^2) = 80.22$$

Grados de libertad de variabilidad debido a diferencias entre tratamientos: 2-1 = 1

Variabilidad residual:

$$\begin{aligned}
 &(97 - 98.888)^2 + (99 - 98.888)^2 + (100 - 98.888)^2 + (99 - 98.888)^2 + \\
 &(97 - 98.888)^2 + (98 - 98.888)^2 + (100 - 98.888)^2 + (100 - 98.888)^2 + \\
 &(100 - 98.888)^2 + (100 - 94.666)^2 + (95 - 94.666)^2 + (75 - 94.666)^2 + \\
 &(90 - 94.666)^2 + (98 - 94.666)^2 + (100 - 94.666)^2 + (99 - 94.666)^2 + (100 - 94.666)^2 + \\
 &(95 - 94.666)^2 = 536.88
 \end{aligned}$$

Grados de libertad de variabilidad residual: 17-1 = 16

Resultado Test F = 0.000021937 Las ocasiones en que el tiempo de predicción es relativamente alto en comparación al promedio, se encontraron algunos patrones que hacen dicha predicción más difícil para el sistema. Uno de estos factores es la resolución, a tal punto que si la resolución de la imagen no llega a un punto aceptable, sin importar cuantas veces entrene la red neuronal o cuantas veces haga la prueba no se podrá llegar a ningún resultado en la imagen, por otro lado el tiempo en dicho caso es elevado.

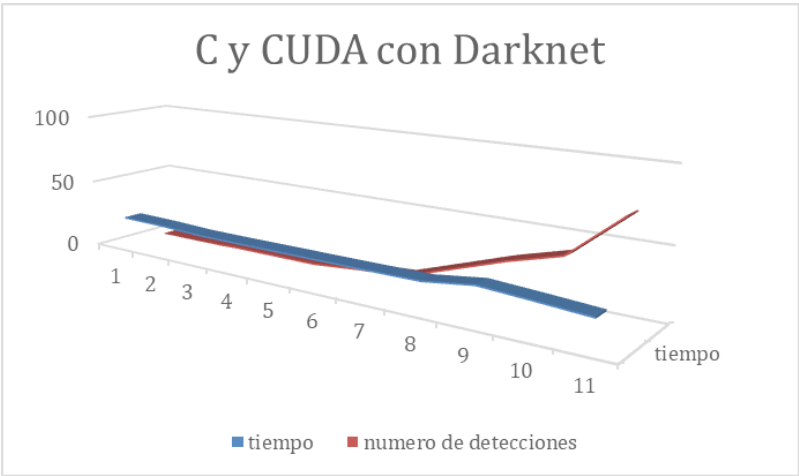


Figura 14 – comparación de tiempos según las detecciones realizadas por C

Otro factor fundamental es el número de detecciones que encuentre, ya que el tiempo es mayor en el momento de la detección, aunque, al realizar el grafico de comparaciones podemos observar que este intervalo de tiempo permanece casi que constante a medida que se aumenta las detecciones exponencialmente, además de que la tasa de predicción baja considerablemente, dado que se hizo pruebas en una imagen en la que aparecen varias personas y en particular una tenía un porcentaje específico, pero cuando se recortó la imagen dejando a esta única persona el porcentaje de predicción subió radicalmente. Hay que tener en cuenta que este sistema fue probado bajo su mínima capacidad, ya que si se activan todas las herramientas como OpenCV y CUDA para realizar cómputo en paralelo, el proceso será 500 veces más rápido haciendo que incluso pueda realizarse en tiempo real, esto se hizo para poder visualizar con más detalle los cambios en tiempos de respuesta que tiene el sistema a diferentes entradas, dado que si el tiempo es muy corto, dichos cambios no logran notarse.

TensorFlow			
detecciones faltantes	número de detecciones	porcentaje de acierto	tiempo de detección
0	1	arma blanca: 98%	6.296973 segundos
0	1	arma blanca: 92%	6.486349 segundos
-4	1	arma blanca: 97%- 46%	6.854759 segundos
6	2	arma blanca: 77% arma blanca: 48%	7.256846 segundos
0	5	arma blanca: 90%- 55%	9.542148 segundos

Tabla 5 – Datos de Resultados de Python con TensorFlow

Promedio porcentaje: 83.666%
Promedio tiempo: 7,282 segundos

Variabilidad total en los datos porcentuales:

$$(98 - 83.666)^2 + (92 - 83.666)^2 + (97 - 83.666)^2 + (77 - 83.666)^2 + (48 - 83.666)^2 + (90 - 83.666)^2 = 1809.333$$

Grados de libertad de la variabilidad total en los datos porcentuales: $6 - 1 = 5$

Variabilidad debido a diferencias entre tratamientos:

$$(3 * (95.666 - 83.666)^2) + (3 * (71.666 - 83.666)^2) = 864$$

Grados de libertad de variabilidad debido a diferencias entre tratamientos: $2 - 1 = 1$

Variabilidad residual:

$$(98 - 95.666)^2 + (92 - 95.666)^2 + (97 - 95.666)^2 + (77 - 71.666)^2 + (48 - 71.666)^2 + (90 - 71.666)^2 = 945.33$$

Grados de libertad de variabilidad residual: $5 - 1 = 4$

Resultado Test F = 0.04372

Para este sistema a pesar de que el dataset de imágenes estuviese tan reducido, se tuvieron buenos resultados ya que pudo reconocer en el 87% donde se encontraba un arma blanca en una imagen, pero al igual que en el sistema de darknet los factores de número de detecciones y calidad de imagen juegan un papel fundamental a la hora de hacer una buena precisión. Hubo varios resultados en los cuales el sistema detectó un arma blanca en lugares donde no lo habían, como se dijo anteriormente esto se debe a que el entrenamiento para este caso fue muy pobre, ya que encontrar imágenes referente a un objeto en particular es una tarea compleja, dado que para estos tipos de entrenamiento se necesitan miles sino millones de imágenes para cada objeto. Por otro lado otro inconveniente a la hora de entrenar un sistema de esta categoría es el cómputo que gasta en el momento de entrenar, ya que dicho proceso puede tardar horas e incluso dependiendo de la máquina que se posea podría tardar días.

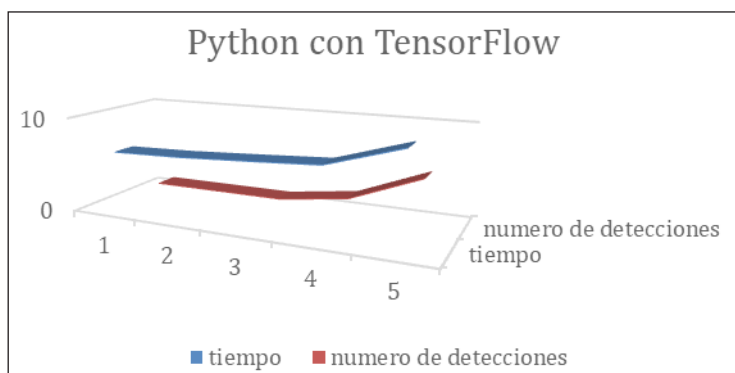


Figura 15 – comparación de tiempos según las detecciones realizadas por PYTHON

El grafico anterior nos muestra claramente que con este método el tiempo se dispara al momento que debe analizar más objetos y marcar la detección encontrada, por lo que es un factor fundamental a la hora de escoger este lenguaje con esta red neuronal.

El intervalo de confianza se calculó según un estudio hecho con las pruebas realizadas a cada método, con un 90% ya que todos los métodos se acomodaban a este porcentaje, además sometiéndolos bajo las mismas pruebas utilizando la siguiente formula.

$$IC_{90\%} = \left(\bar{X} - x_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\delta}{\sqrt{N}}, \bar{X} + x_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\delta}{\sqrt{N}} \right)$$

Siendo **IC**: Intervalo de confianza, \bar{x} : Promedio, $x_{\frac{\alpha}{2}}$: Valor crítico, δ : Desviación estándar, **N**: Numero de muestras.

PYTHON: IC = (7.20102741 seg, 7.373802599 seg)

C: IC = (20.5293339 seg, 20.572442 seg)

JAVA: IC = (0.10398528 seg, 0.10406918 seg)

Para realizar comparaciones graficas entre los diferentes lenguajes y redes neuronales, se optó por realizar diferentes pruebas bajo ciertos parámetros definidos que permitirán sacar el mejor resultado de cada uno, dichos resultados se promediaron dando así el siguiente gráfico.

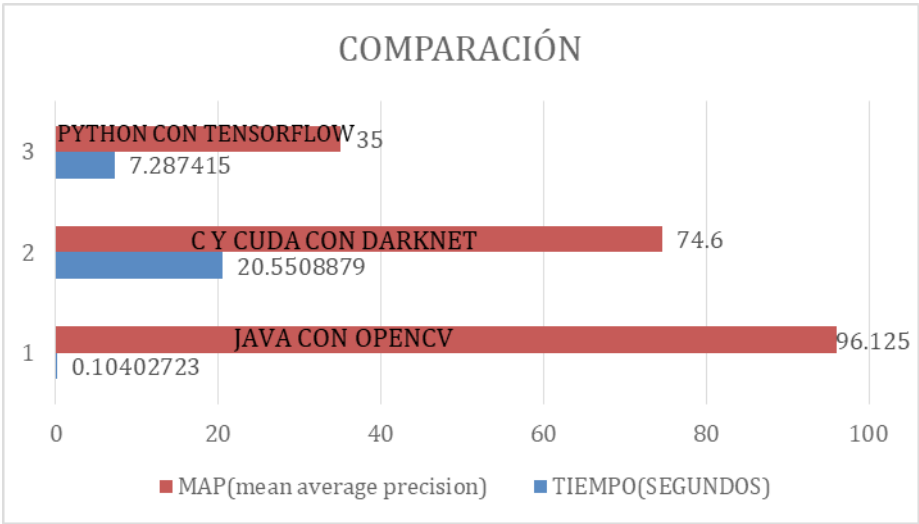


Figura 16 – comparación de MAP y tiempos calculados de cada método de detección

5. Conclusiones

Existen muchos lenguajes, herramientas y redes neuronales artificiales que pueden acomodarse a nuestras necesidades, algunas ya entrenadas que hacen que muchas tareas complejas ya no existan, ya que uno de los obstáculos más grandes que se tiene a la hora de realizar un entrenamiento es el dataset que le permita abarcar esta necesidad y una capacidad de cómputo que está por encima del promedio. Si se desea utilizar un modelo ya entrenado hay que tener en cuenta que dichos modelos bien pueden que no tengan una documentación basta para poder mantenerlo o en algunos casos dichos modelos no pueden ser re-entrenados, lo que hace imposible añadir nuevas características lo que lo harían obsoleto al paso del tiempo. Por otro lado si se desea entrenar uno desde cero, existen varias técnicas que permiten reutilizar imágenes para que el número de las mismas aumente exponencialmente, también existen herramientas que permiten aliviar carga de cómputo y así facilitar el manejo del entrenamiento. Escoger alguna u otra herramienta mencionada es criterio del lector, en este informe se mostró la capacidad, respuesta, problemas, ventajas y desventajas de cada uno, esto le permiten al lector tener un criterio de decisión con base en algunos ejemplos que hemos proporcionado.

Referencias

- Bhattacharjee, S., & Somashekhar, G. C. (2017). Artificial intelligence to impart surveillance, tracking, & actuation on suspicious activities. *Proceedings - 7th IEEE International Advanced Computing Conference, IACC 2017*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IACC.2017.0016>
- Chella, A., Liotta, M., & MacAluso, I. (2007). CiceRobot: A cognitive robot for interactive museum tours. *Industrial Robot*, 34(6), 503–511. <https://doi.org/10.1108/01439910710832101>
- Cho, C. W., Chao, W. H., Lin, S. H., & Chen, Y. Y. (2009). A vision-based analysis system for gait recognition in patients with Parkinson's disease. *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 2), 7033–7039. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.08.076>
- Da Silva, J. C., Lima, F. P. D. A., Lotufo, A. D. P., & Batista, J. M. M. D. C. P. (2015). Identity Recognition Using an Artificial Intelligence Based on Artificial Immune System. *Proceedings - 2015 Asia-Pacific Conference on Computer-Aided System Engineering, APCASE 2015*, 158–162. <https://doi.org/10.1109/APCASE.2015.35>
- Deepika, P. U. D., Chauhan, S., & Narayan, N. (2018). Artificial Intelligence Techniques Used to Detect Object and Face in an Image: A Review. *Proceedings - 2017 International Conference on Computational Intelligence and Networks, CINE 2017*, 6–9. <https://doi.org/10.1109/CINE.2017.20>
- Galarza Bravo, M. A., & Flores, M. (2018). Detección de peatones en la noche usando Faster R-CNN e imágenes infrarrojas. *Ingenius*, (20), 48–57. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.05>

- Kaartinen, J., Hätönen, J., Hyötyniemi, H., & Miettunen, J. (2006). Machine-vision-based control of zinc flotation-A case study. *Control Engineering Practice*, 14(12), 1455–1466. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2005.12.004>
- Moeslund, T. B., & Granum, E. (2001). A survey of computer vision-based human motion capture. *Computer Vision and Image Understanding*, 81(3), 231–268. <https://doi.org/10.1006/cviu.2000.0897>
- Nash, J. M., Carter, J. N., & Nixon, M. S. (2013). Extraction of Moving Articulated-Objects by Evidence Gathering. 61.1-61.10. <https://doi.org/10.5244/c.12.61>
- NVIDIA. (2015). *Cuda C Programming Guide*. Programming Guides, (September), 1–261.
- Poppe, R. (2010). A survey on vision-based human action recognition. *Image and Vision Computing*, 28(6), 976–990. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2009.11.014>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1804.02767>
- Restrepo, B., & Abril, M. (2007). Sistema de visión artificial para el registro de densidad peatonal en tiempo real. *Scientia Et Technica*, 1(1), 79–83.
- Salyut, J., & Kurnaz, C. (2019). Profile Face Recognition using Local Binary Patterns with Artificial Neural Network. 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, IDAP 2018, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620840>
- Stauffer, C., & Grimson, W. E. L. (1999). Adaptive background mixture models for real-time tracking. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2, 246–252.
- Vogler, C. (2016). Human Gait Recognition. (April). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2004.87>
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (8a. ed.) (8th ed.). Distrito Federal: Pearson Educación.
- Wiki PyAr - Python Argentina. (n.d.). Retrieved September 19, 2019, from <http://www.python.org.ar/wiki/Tutorial>

Estilos de aprendizaje y uso de TIC en docentes universitarios: análisis relacional basado en componentes¹

David Alberto García Arango¹, Jorge Eliécer Villarreal Fernández², José Antonio Ortega Carrillo³, Óscar Andrés Cuéllar Rojas⁴, César Felipe Henao Villa⁵

dagarcia@coruniamericana.edu.co, **jvillarreal@coruniamericana.edu.co**, **jaorte@ugr.es**,
ocuellar@coruniamericana.edu.co, **chenao@coruniamericana.edu.co**

¹Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, calle 36B N°31-49, 050016, Medellín, Colombia.

²Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

³Catedrático de Didáctica y Organización Escolar, Calle del Prof. Clavera, 18015, Granada, España.

⁴Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

⁵Docente Investigador de la Corporación Universitaria Americana, Carrera 42 N°52-06, 050012, Medellín, Colombia.

Pages: 1001–1016

Resumen: Este escrito pretende enriquecer los estudios existentes mostrando los resultados de una investigación dirigida a identificar relaciones entre los estilos de aprendizaje y el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a nivel del docente universitario. Mediante un análisis factorial basado en componentes con datos obtenidos de una encuesta aplicada a 73 docentes de una Institución de Educación Superior, se identificaron nueve componentes de conocimiento, uso y percepción acerca de las TIC y tres componentes de estilos de aprendizaje que posteriormente fueron contrastados respecto a la muestra, generándose de esta forma una reinterpretación de la teoría existente en contexto con la Institución de Educación Superior base del estudio. Los resultados obtenidos permitieron identificar características de la Institución y el rol de sus docentes en el marco de la generación de políticas y estrategias orientadas hacia el desarrollo profesoral y la construcción colectiva de una cultura de TIC para la educación.

Palabras-clave: TIC; estilos de aprendizaje; docencia universitaria; análisis relacional; desarrollo profesoral.

¹ Trabajo resultado del proyecto de investigación para el Proyecto de I+D+I que contribuye al fortalecimiento de la formación virtual en el Departamento de Antioquia. Proyecto de investigación financiado por Colciencias con código 64408

Learning styles and use of ICT in university teachers: a component-based relational analysis

Abstract: This paper aims to enrich existing studies by showing the results of an investigation oriented to identify relationships between learning styles and the use of Information and Communication Technologies (ICT) at the level of university teaching. Through a component-based factor analysis with data obtained from a survey applied to 73 teachers of a Higher Education Institution, nine components of knowledge, use and perception about ICT, and three components of learning styles were identified that and subsequently contrasted with each other based in the sample, in this way this study finds a reinterpretation of the existing theory in context with the Institution of Higher Education of this study. The results obtained allowed to identify characteristics of the Institution and the role of its teachers in the framework of the generation of policies and strategies oriented towards teacher development and the collective construction of a culture of ICT for education.

Keywords: ICT; learning styles; university teaching, relational analysis; teacher development.

1. Introducción

Las Instituciones de Educación Superior, al igual que todo estamento relacionado con educación, se mantienen en la inexorable labor de direccionar esfuerzos hacia el mejoramiento continuo, en materia de formación y construcción de comunidad académica. Estos esfuerzos se hacen en distintas direcciones y son tan variadas y múltiples las miradas que pueden tener los procesos asociados a la enseñanza y el aprendizaje, que siempre es importante identificar el punto de vista desde el cual se analizan los hechos para tomar decisiones acordes al tiempo, lugar y situación.

El punto de vista del presente artículo estudia un aspecto que, según el rastreo de literatura existente respecto a estilos de aprendizaje, no ha sido suficientemente explorado, bien sea por la tendencia dominante de estudio en materia de aprendizaje, por la antigua concepción del docente como poseedor del conocimiento que trasciende a la época actual, o por alguna otra razón que daría pie a otra investigación. Se trata de los estilos de aprendizaje del docente, un vasto campo de investigación que podría considerarse poco explorado y que a la luz del *habitus docente* (Bourdieu, 1991), da cuenta de consecuencias en el aprendizaje del estudiante y la forma en que se toman decisiones en los entornos áulicos: estructurar una clase o un curso, utilizar una estrategia de aprendizaje o enseñanza en el aula, aplicar mecanismos de participación, trabajar en equipos inter, trans o disciplinares (Henao Villa, y otros, 2017), tener afinidad por Tecnologías Digitales, entre otros.

Diversos han sido los cuestionamientos de los Ministerios de Educación y estudiosos del tema respecto al rol y la responsabilidad del docente en la curaduría y posterior implementación de contenidos digitales y herramientas TIC para el fortalecimiento de competencias y la consecuente gestión curricular. Una revisión de literatura reciente al respecto puede observarse en Juárez Popoca, Torres Gastelú, & Herrera Díaz (2017).

La comprensión del rol docente se puede iniciar considerando que el modelo tradicional educativo, considera que a través del educador, “el educando es el receptor y depositario del legado cultural y social, en forma de conocimiento acumulado, tradiciones,

costumbres, etc. Su misión es adquirir este bagaje, preservarlo y transmitirlo a la generación siguiente.” (Prats Gil, 2015, pág. 27)

El docente, por la responsabilidad o carga histórica que le asiste como heredero poseedor y posterior transmisor del conocimiento, debe enfrentarse al constante desafío actual de la atomización de la información por cuenta de la rápida proliferación de las TIC y la creciente duplicidad de datos que inundan las redes sociales y el ciberespacio en general, si a lo anterior, se le añade como contexto colombiano que gran parte de los docentes universitarios son inmigrantes digitales, que en su época de estudiantes escasamente conocieron la incursión de las TIC en el aula no como herramienta de aprendizaje sino como herramienta meramente instrumental, de apoyo a la gestión ágil de procesos como hacer trabajos escritos, buscar información o comunicarse, se está ante un panorama de gran interés para la investigación en educación.

Por los motivos anteriormente expuestos, la investigación descrita en el presente artículo, se enfoca en analizar, mediante la técnica estadística de componentes principales y a partir de un caso de estudio, la relación existente entre los estilos de aprendizaje de 73 docentes de una Institución de Educación Superior de Medellín y el conocimiento, uso y actitudes de ellos hacia las TIC en el aula. El artículo presenta en primer lugar, una breve contextualización del caso de estudio, en segundo lugar presenta los aspectos metodológicos de la investigación, para en tercer lugar mostrar los resultados y su respectivo análisis. Finalmente, se presentan conclusiones respecto a las relaciones obtenidas, así como perspectivas de aplicación a nivel de políticas y objetivos estratégicos en el marco de la gestión curricular.

2. Contextualización

Recientes estudios respecto a estilos de aprendizaje, han basado su centro de análisis en el estudiante y en la interacción de éste con las competencias a desarrollar en un contexto específico; a este respecto se puede ver por ejemplo, la aplicación del cuestionario REATIC en estudiantes universitarios (De Moya Martínez, Hernández Bravo, Hernández Bravo, & Cózar Gutiérrez, 2011), análisis y diagnóstico en estudiantes universitarios (Alonso, 1991), aplicación del CHAEA a canales de percepción (Gamboa Mora, Briceño Martínez, & Camacho González, 2015), cuestionario Honey-Alonso de Estilos de Aprendizaje (CHAEA) (Alonso, Gallego, & Honey, 1999), estudios aplicados a competencias en los estudiantes en enfermería (González Garza, Hernández Castañón, & Castrejón Reyes, 2017).

Igualmente, en la Revista de Estilos de Aprendizaje, se encuentran trabajos relacionados con los estilos de enseñanza (Renes, Echeverry, Chiang, Rangel, & Geijo, 2013), estilos de aprendizaje y estilos de pensamiento en profesores universitarios (Meneses Santisbón, 2013). También se hallan estudios como uso de las TIC de acuerdo a los estilos de aprendizaje de docentes y discentes (García Cué, Santizo Rincón, & Alonso García, 2009), cuestionario VARK de estilos de aprendizaje y su relación con el uso de tecnologías de información comunicación en personas adultas (Acosta-Castillo, 2016), conocimiento y uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) según el Estilo de Aprendizaje de los futuros maestros (Cózar-Gutiérrez, De Moya-Martínez, Hernández-Bravo, & Hernández-Bravo, 2016), estilos de aprendizaje de docentes como oportunidad

para la mejora de la enseñanza-aprendizaje en la Universidad Nacional Agraria de Managua (Aguirre Jiménez, 2017).

En el campo de la formación universitaria en línea destacan los trabajos de Ramírez-León & Ortega Carrillo (2010 y 2012) y Ramírez-León (2019) sobre Diagnóstico del estilo de aprendizaje predominante basado en minería de datos y el modelo de Felder aplicados al eLearnig 3.0.

Con base en la búsqueda de literatura, se ha encontrado que la mayoría de los estudios se enfocan en los estilos de aprendizaje del estudiante o en los estilos de enseñanza del docente y son menos textos los que enfocan sus esfuerzos de comprensión de relación entre estos estilos de aprendizaje del docente y la implementación de TIC en la gestión curricular. El trabajo actual es la continuación de un estudio exploratorio realizado acerca de la actitud digital en docentes universitarios en el contexto de la implementación de cursos tipo MOOC (Massive Online Open Course) (Cuéllar Rojas, y otros, 2019). En este estudio se identificó que si bien es cierto los docentes consideraban importante el uso de Tecnologías Digitales en las clases, utilizaban la plataformas no como entornos virtuales de aprendizaje sino como una especie de repositorios de información en los cuales los estudiantes subían documentación, trabajos o participaban esporádicamente en los foros. El resultado del estudio planteó la necesidad de indagar más profundamente respecto a los sentidos y significados que subyacen a la implementación de Tecnologías Digitales en la Institución de Educación Superior.

Realizando búsqueda documental, se tuvo como punto de partida que la identificación de estilos de aprendizaje en el docente ofrece una mirada diferente respecto a las múltiples relaciones en el aula y da la posibilidad de identificar políticas orientadas hacia procesos de formación y capacitación docente que fortalezcan un marco de trabajo más significativo. El docente considerado también como sujeto de educación es un agente activo que en su historicidad también construye o deconstruye desde la reflexión y metacognición de su práctica. De ahí que según Elliot (1990) citado en Sanjurjo (2012) se considere que “la práctica reflexiva es un proceso dialéctico de generación de práctica a partir de la teoría y de teoría a partir de la práctica.”

Se identificó también que la proliferación de las Tecnologías Digitales y su consecuente adaptación a los procesos relacionados con la enseñanza y el aprendizaje conllevan nuevas estructuras que merecen ser estudiadas, más si se tiene en cuenta que el tránsito por la denominada era de la información y el conocimiento ha derivado en una suerte de clasificación entre “nativos digitales” e “inmigrantes digitales” que debería ser desmitificada en el sentido en que “no ser nativo digital no es un impedimento para conocer y dominar las herramientas tecnológicas” (Flores Alarcia & Del Arco Bravo, 2013, pág. 59) y menos para aplicar éstas en el proceso de aprendizaje. Con la finalidad de identificar la forma de llevar a cabo la toma de datos, se hizo una exploración de diferentes cuestionarios o instrumentos de diagnóstico de estilos de aprendizaje propuestos en García Cué, Santizo Rincón, & Alonso García (2009, pág. 3).

De los instrumentos de diagnóstico analizados, se identificó que el cuestionario REATIC sería el más idóneo para el objetivo de integrar un análisis en estilos de aprendizaje

y su relación con las TIC. Respecto a la Institución de Educación Superior de la cual trató el estudio se encuentra en la ciudad de Medellín, Colombia. Es una institución con más de 120 docentes y ofrece programas de formación técnica, tecnológica y profesional repartidos en facultades de Ingeniería, Ciencias Sociales y Humanas y Ciencias Económicas Administrativas y Contables.

Autores	Instrumento
<i>Alonso, Gallego y Honey (1992, 1994)</i>	Cuestionario Honey-Alonso de Estilos de Aprendizaje (CHAEA)
<i>Robert Sternberg (1997)</i>	Inventario de Estilos de Pensamiento (Thinking Styles Inventory)
<i>Catherine Jester (1999)</i>	Encuesta sobre Estilos de Aprendizaje para la Universidad (Learning Style Survey for Collage)
<i>S. Whiteley y K. Whiteley (2003)</i>	Inventario de Estilos de Aprendizaje del proyecto Memletics (The Memletics Learning Styles Inventory)
<i>De Moya Martínez, Hernández Bravo, Hernández Bravo, & Cózar Gutiérrez, (2011)</i>	REATIC Análisis de los estilos de aprendizaje y las TIC en la formación personal del alumnado universitario

Tabla 1 – Instrumentos de diagnóstico

3. Metodología

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo con 73 docentes de los programas de formación en Derecho, Licenciatura en Pedagogía de Primera Infancia, Administración de Empresas, Contaduría, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Sistemas y Negocios Internacionales, todos programas de pregrado. A la muestra en cuestión, se le aplicó el cuestionario REATIC (De Moya Martínez, Hernández Bravo, Hernández Bravo, & Cózar Gutiérrez, 2011), el cual consta de 60 preguntas repartidas en los siguientes bloques: conocimiento de las TIC, uso de las TIC, actitudes hacia las TIC y uso de las TIC según estilo de aprendizaje.

La identificación del cuestionario idóneo para la investigación se basó en un estudio hermenéutico que bajo una lógica abductiva se interesa por identificar datos que asociados a la teoría dan cuenta del caso que se está estudiando. (Samaja, 2012). Posterior a la aplicación del cuestionario, los datos tabulados fueron ingresados al software SPSS (IBM Corp., 2015) y para cada bloque de preguntas se realizó un análisis factorial exploratorio con el método de extracción de componentes principales y se realizó una rotación varimax, los resultados de la rotación se guardaron en forma de regresión para posteriormente comparar los componentes obtenidos según el bloque de preguntas al cual pertenecen.

El estudio de los componentes obtenidos y el análisis de relación gráfico, permite identificar relaciones entre variables para comprender la incidencia de los componentes de estilos de aprendizaje en el conocimiento, uso o actitudes hacia las TIC.

4. Resultados y análisis de resultados

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos del análisis factorial para cada bloque de preguntas o ítems: primer bloque, conocimiento de las TIC (Tabla 2); uso de las TIC (Tabla 3), percepción acerca de las TIC (Tabla 4) y uso de las TIC según estilos de aprendizaje (Tabla 5). Para cada uno de ellos, se identificaron las preguntas que más relación tienen con el componente en sus communalidades. Es importante aclarar que la prueba de KMO y Bartlett dieron resultados significativos para la muestra. En la Tabla 6 se puede observar un resumen de los componentes y sus respectivas preguntas en relación con los estilos de aprendizaje de los docentes. La letra V representa el ítem o pregunta del cuestionario y la letra C el componente.

Ítem	Componente	
	1	2
V1	,819	
V2	,830	
V3	,826	
V4	,487	,592
V5	,569	,471
V6	,681	,411
V7	,653	,519
V8	,800	,369
V9	,697	,312
V10		,722
V11	,802	
V12		,780
V13		,813
V14	,585	,403
Método de extracción: análisis de componentes principales.		
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.		
a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.		

Tabla 2 – Matriz de componente rotado para el primer bloque^a

Ítem	Componente	
	1	2
V15	,790	
V16	,709	
V17	,704	,359
V18	,599	,420
V19	,624	,363

Ítem	Componente	
	1	2
V20	,850	
V21	,732	,315
V22	,817	
V23	,704	
V24		,808
V25	,845	
V26		,877
V27		,914
V28	,706	,323
Método de extracción: análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.		
a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.		

Tabla 3 – Matriz de componente rotado para el segundo bloque^a

Ítem	Componente		
	1	2	3
V45	,843		
V46	,655		
V47	,780		
V48	,872		
V49	,742		
V50	,848		
V51			,826
V52	,539	,338	,319
V53	,525		,586
V54		,427	,372
V55	,753		
V56		,784	
V57	,506	,418	,326
V58		,689	
V59	,382	,632	
V60	,592	,456	
Método de extracción: análisis de componentes principales Rotación: Varimax con normalización Kaiser.			
a. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.			

Tabla 4 – Matriz de componente rotado para el cuarto bloque^a

Bloque o Dimensión	Componente	Ítem o pregunta	Descripción del componente	Estilos
Conocimiento de las TIC	C11	V1, V2, V3, V5, V6, V7, V8, V9, V11, V14	Procesadores de información (lectura, búsqueda), aplicaciones de redes sociales y hardware	Reflexivo-teórico
	C12	V4, V10, V12, V13	Sistemas de información, sistemas de edición y desarrollo de contenidos. Actividades de curaduría de datos e información	Activo – pragmático
Uso de las TIC	C21	V15, V16, V17, V18, V19, V20, V21, V22, V23, V25, V28	Procesadores de información (lectura, búsqueda), aplicaciones de redes sociales y hardware. Sistemas de Información	Reflexivo-teórico
	C22	V24, V26, V27	Sistemas de edición y desarrollo de contenidos. Actividades de curaduría de datos e información	Activo – pragmático
Percepción acerca de las TIC	C31	V29, V30, V32, V33, V34, V36, V41, V42	Las TIC como componentes importantes en la formación y el aprendizaje	Integrador
	C32	V31, V35	Las TIC como difíciles de comprender y poco útiles	Pragmático
	C33	V40, V44	Las TIC imprescindibles en la sociedad y el disfrute del tiempo libre	Reflexivo
	C34	V37, V39, V43	Las TIC suministran información poco fiable y segura. No sustituyen los recursos tradicionales	Teórico
	C35	V38	Las TIC hacen perder mucho tiempo	Pragmático
Uso de las TIC según estilos de aprendizaje	C41	V45, V46, V47, V48, V49, V50, V52, V55, V57, V60	Utilización Integradora de las TIC	Activo - reflexivo - pragmático – teórico
	C42	V54, V56, V58, V59	Utilización conservadora de las TIC	Activo - reflexivo-pragmático
	C43	V51, V53	Aversión al uso de TIC	Activo-pragmático

Tabla 5 – Relación entre dimensiones, componentes, variables y estilos. Descripción de los componentes obtenidos – Elaboración propia.

Es importante aclarar que la palabra bloque, hace referencia al conjunto de ítems del cuestionario aplicado que responden a una dimensión específica de análisis. En este caso, el bloque 1 corresponde al conocimiento de las TIC por parte de los docentes, el bloque 2 corresponde al uso de las TIC por parte de los docentes, el bloque 3 corresponde a la percepción acerca de las TIC por parte de los docentes y el bloque 4 corresponde a el uso de las TIC según estilos de aprendizaje en los docentes.

La Tabla 6, además de resumir los ítems o preguntas que se asociaron a cada componente respecto a los datos obtenidos de aplicación del cuestionario, presenta una descripción del componente según la interpretación de los ítems del cuestionario que fueron asociados a éste. Igualmente presenta una relación entre el componente y el estilo o estilos asociados según la descripción y las características propuestas en De Moya Martínez, Hernández Bravo, Hernández Bravo, & Cózar Gutiérrez (2011). La clasificación por componentes permitió una clasificación más detallada de las preguntas del cuestionario según la orientación de las respuestas obtenidas de la muestra permitiendo así un acercamiento a las tendencias de la muestra. Con la finalidad de realizar una descripción más detallada de la muestra, se procedió a generar un gráfico que relaciona las regresiones de los componentes entre sí. A continuación se presentarán los gráficos obtenidos relacionando los componentes de los estilos de aprendizaje (eje x) con los componentes de los bloques uno a tres que en su orden corresponden a conocimiento, uso y percepción de docentes universitarios respecto a TIC (eje y).

Para poder analizar la forma en que se distribuye la muestra, se realizó un análisis de clúster jerárquico con métodos de agrupación en clústeres y con medida de distancia euclídea al cuadrado. La aplicación de esta técnica en el SPSS generó como resultado la organización de la muestra en dos grupos donde el grupo de color azul (grupo 1) representa la muestra de docentes que tienen una utilización menos integradora de las TIC según sus estilos de aprendizaje, a diferencia de los docentes del grupo de color verde (grupo 2), quienes tienen características más acentuadas respecto a el gusto por experimentar con las TIC (V45), la utilización de las TIC para resolver problemas paso a paso (V46), actualización continua en materia de TIC (V47), disfrute en preparación de clase utilizando TIC (V48), certeza respecto a la importancia de las TIC para la formación (V49), aplicación de conocimientos aprendidos con las TIC (V50), interpretación y curaduría reflexiva de contenidos en red (V52), búsqueda de nuevas experiencias a través de TIC (V55), seguimiento de un orden al realizar un trabajo en internet (V57) y búsqueda de obtención de conclusiones en los trabajos realizados con TIC (V60). Cada uno de los ítems anteriores se corresponden con un estilo de aprendizaje que puede ser activo, teórico, reflexivo o pragmático según De Moya Martínez, Hernández Bravo, Hernández Bravo, & Cózar Gutiérrez (2011).

A continuación, se presentan las gráficas obtenidas al relacionar los componentes:

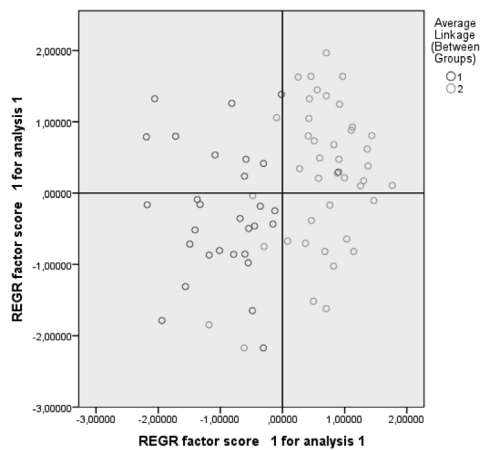


Figura 1 – Relación entre C41 y C11

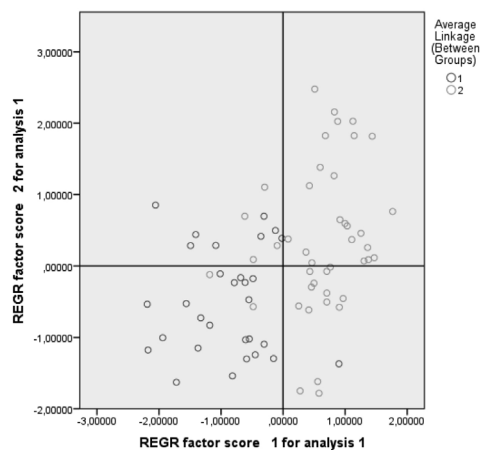


Figura 2 – Relación entre C41 y C12

Las Figuras 1 y 2 representan el conocimiento de TIC por parte de docentes universitarios en el eje vertical, lo cual implica que entre más arriba estén los puntos, mayor será el conocimiento de las TIC. Respecto al eje horizontal se puede interpretar que entre más a la derecha estén los puntos, mayor será el uso de las TIC según los estilos de aprendizaje. Se puede observar cómo los puntos azules se encuentran más abajo mientras los puntos verdes se encuentran más arriba, ésta observación se acentúa en la Figura 2 donde los puntos verdes están más arriba que los azules con lo cual se infiere que la brecha entre los grupos se amplía en la medida en que se pase de la utilización de procesadores de información (lectura, búsqueda), aplicaciones de redes sociales y hardware (componente

C11) al uso de Sistemas de información, sistemas de edición y desarrollo de contenidos. Actividades de curaduría de datos e información (componente C12).

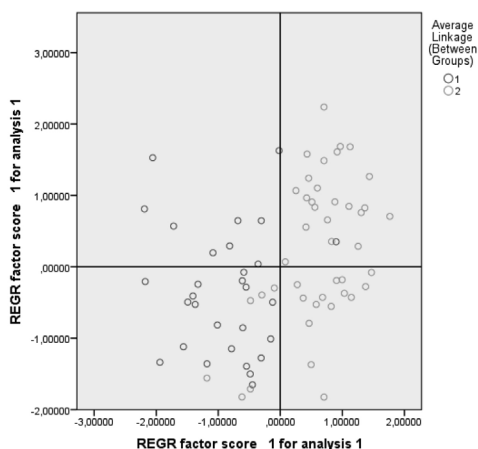


Figura 3 – Relación entre C41 y C21

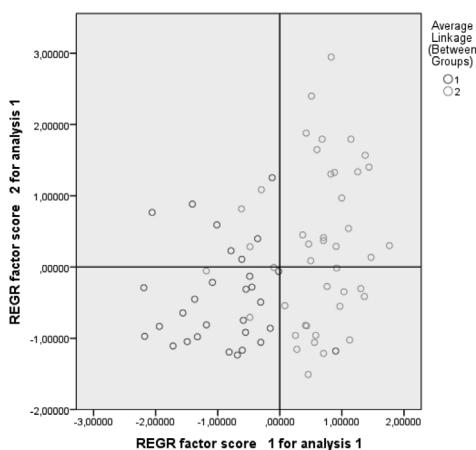


Figura 4 – Relación entre C41 y C22

Respecto a las Figuras 3 y 4, la diferencia se hace más evidente. Para estas figuras, el eje vertical representa el uso de las TIC; en este caso se produce un comportamiento similar al de las Figuras 1 y 2. Se resalta de forma especial que los ítems V4 (conocimiento acerca de portales educativos) y V18 (uso de portales educativos), se asocian en sus componentes con ítems distintos, el ítem V4 se agrupó al mismo nivel del conocimiento acerca de herramientas ofimáticas y buscadores de información, mientras que el ítem V18 se agrupó al mismo nivel del uso de sistemas para el desarrollo y curaduría de contenidos. En este sentido, se puede inferir que los docentes conocen acerca de portales

educativos (Redcampus, Moodle, Webct) pero se genera un nivel de dificultad adicional al momento de utilizarlos. A continuación, se presentan las figuras 5 a 9 asociadas con la percepción de los docentes universitarios respecto a TIC.

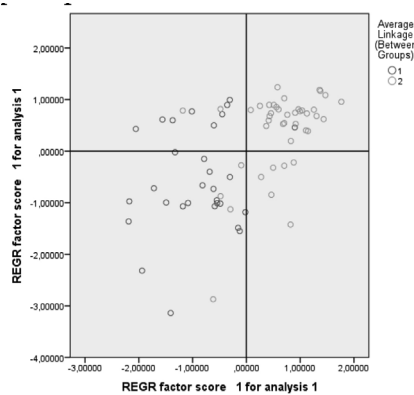


Figura 5 – Relación entre C41 y C31

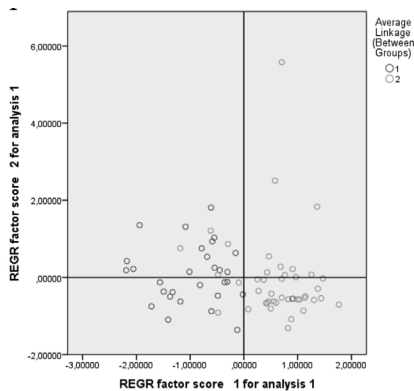


Figura 6 – Relación entre C41 y C32

Al observar las figuras anteriores, se identifica que el grupo 2 (verde), se encuentra por debajo del grupo 1 (azul) en las figuras 6, 8 y 9 que están relacionadas con percepción desfavorable respecto a comprensión, utilidad, seguridad y ahorro de tiempo en la utilización de TIC. De otro lado, en las figuras 5 y 7 que representan percepción favorable respecto a la formación, aprendizaje, utilidad a la sociedad y disfrute del tiempo libre ocurre lo contrario corroborando la relación existente entre los estilos de aprendizaje del docente y su percepción respecto a TIC.

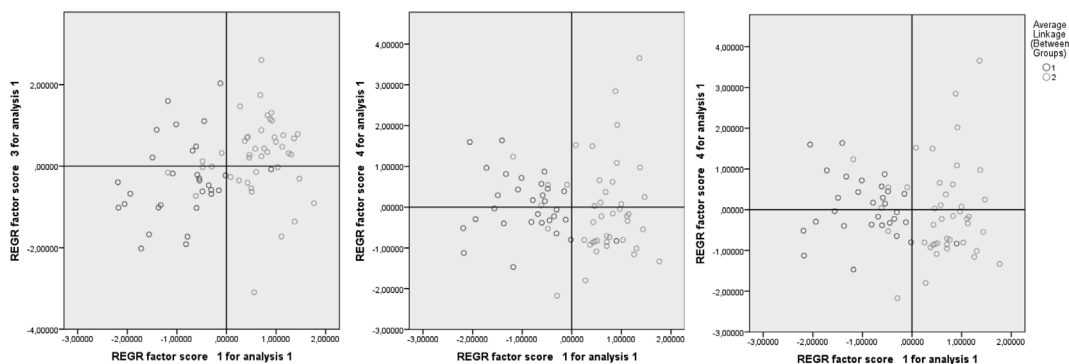


Figura 7 a 9 – Relación C41 con C33, C41 con C34 y C41 con C35 respectivamente.

4. Discusión

Los hallazgos obtenidos presentan una clara referencia a la diferenciación metodológica de implementación en el aula que debe hacerse al interior de las TIC según sea su orientación: si es a la información y comunicación (TIC), aprendizaje y conocimiento (TAC), empoderamiento y participación (TEP) (García Arango, Araque González, & Henao Villa, 2018).

En este sentido, Padilla-Beltrán, Vega-Rojas, & Rincón-Caballero (2014) señalan que

“Las tendencias pedagógicas no se pueden confinar a una visión jerarquizada, pues el docente, así como sus educandos pueden convenir diferentes procesos y acciones que permitan una dialógica consecuente con alcance de los objetivos de aprendizaje, por lo cual, lo tecnológico no puede ser un impedimento, sino una alternativa de flexibilidad hacia el metaprendizaje, producto de la combinación de supuestos pedagógicos y estrategias didácticas presenciales y virtuales; colaborativas e individuales; que permitan ser aprendiz y maestro indistintamente de si se es docente o estudiante.” (pág. 286)

Un camino para avanzar en la articulación entre estilos de aprendizaje y los estilos de enseñanza es a través del reconocimiento por parte del docente de sus estilos de aprendizaje, trabajos de comparación entre estilos de aprendizaje de docentes y estudiantes se han llevado a cabo y proponen la necesidad de analizar implicaciones en los estilos de enseñanza. (Boström, 2011). En su investigación, Isaza Valencia (2014) encontró que respecto a estilos de aprendizaje en docentes universitarios se observa una preferencia hacia estilos teóricos y pragmáticos en contraposición a estilos activos y reflexivos, esto es consistente con los hallazgos en materia de conocimiento, uso y percepción de las TIC de la presente investigación, de ahí que se observa una conservación de los estilos predominantes en el docente independiente de la temática a tratar.

Respecto al conocimiento y uso de Tecnologías Digitales en las actividades académicas o extraescolares, es importante diferenciar si están orientadas a las TIC, TAC o TEP, para de esta forma identificar aspectos críticos en materia de aplicación en el aula, de ahí que no necesariamente por conocer la herramienta, se sepa aplicar en la singularidad del entorno áulico o viceversa, el uso intuitivo de herramientas TIC no implicaría necesariamente un conocimiento exhaustivo de éstas. (García Arango, Araque González, & Henao Villa, 2018).

5. Conclusiones

Se encontraron relaciones entre el uso de las TIC según estilos de aprendizaje y el conocimiento, uso y percepción que los docentes universitarios tienen respecto a las TIC. Estas relaciones están dirigidas primordialmente por una capacidad integradora de los estilos. En ese sentido, los docentes que más integran aspectos o características de los estilos de aprendizaje, son aquellos que según los datos obtenidos tienen mejor percepción, conocimiento y uso de las TIC.

El desarrollo de la investigación permitió identificar cinco componentes que integran la percepción acerca de TIC: enseñanza y aprendizaje (C31), facilidad de uso (C32), vinculación con la sociedad (C33), seguridad de la información (C34) y efectividad para el ahorro de tiempo en procesos (C35). La implementación de políticas de gestión curricular orientadas al direccionamiento de estos componentes mediante actividades que respondan a diferentes estilos de aprendizaje, sirven de referente para la concepción de capacitaciones y planes de mejoramiento en las Instituciones de Educación Superior.

Para efectos de relación por componentes, se consideró el componente de uso favorable de las TIC según el estilo de aprendizaje y se contrastó con los componentes de conocimiento, uso y percepción respecto a TIC. Los componentes de utilización conservadora de TIC (C42) y aversión al uso de TIC (C43) serán analizados en investigaciones posteriores mediante triangulación con grupos focales. Se abre de esta forma la posibilidad de dialogar y debatir respecto a la conveniencia de planes de estudios o diseños instruccionales ligados a herramientas TIC. Es menester iniciar la discusión pensando en la importancia de considerar los estilos de aprendizaje de los docentes como un punto de partida para el desarrollo de estrategias de gestión curricular. Las capacitaciones y orientaciones pedagógicas deben partir del presupuesto de un sujeto docente que a través de la reflexión en torno a su práctica es agente dinamizador de procesos transformadores en el contexto educativo y la implementación de TIC en la educación, no es ajena a éste proceso reflexivo.

Referencias

- Acosta-Castillo, L. (2016). La relación entre los estilos de aprendizaje y el uso de las tecnologías de la información y comunicación en educación de personas adultas. *Revista electrónica Educare*, 1-18.
- Aguirre Jiménez, C. (2017). Estilos de aprendizaje de docentes: oportunidad para la mejora de la enseñanza –aprendizaje en la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. *La Calera*, 28-32.

- Alonso, C. M. (1991). *Estilos de aprendizaje: análisis y diagnóstico en estudiantes universitarios*. Madrid: Universidad Complutense.
- Alonso, C. M., Gallego, D. J., & Honey, P. (1999). *Los estilos de aprendizaje*. Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Boström, L. (2011). Students' learning styles compared with their teachers' learning styles in upper secondary school – a mismatched combination. *Education Inquiry*, 475-495.
- Bourdieu, P. (1991). *El sentido práctico*. Madrid: Taurus Humanidades.
- Cózar-Gutiérrez, R., De Moya-Martínez, M. V., Hernández-Bravo, J. A., & Hernández-Bravo, J. R. (2016). Conocimiento y Uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) según el Estilo de Aprendizaje de los Futuros Maestros. *Formación Universitaria*, 105-118.
- Cuéllar Rojas, Ó. A., García Arango, D. A., Villarreal Fernández, J. E., Gallego Quiceno, D. E., Echeverri Gutiérrez, C. A., & Henao Villa, C. F. (2019). *Digital attitude in university teachers and emerging factors: a case study in the colombian context for the implementation of MOOC courses type*. Coimbra: IEEE.
- De Moya Martínez, M., Hernández Bravo, J. R., Hernández Bravo, J. A., & Cózar Gutiérrez, R. (2011). Análisis de los estilos de aprendizaje y las TIC en la formación personal del alumnado universitario a través del cuestionario REATIC. *Revista de Investigación Educativa*, 137-156.
- Elliot, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Madrid: Morata.
- Flores Alarcia, Ó., & Del Arco Bravo, I. (2013). Nativos digitales, inmigrantes digitales: rompiendo mitos. Un estudio sobre el dominio de las TIC en profesorado y estudiantado de la Universidad de Lleida. *Bordón*, 59-74.
- García Arango, D., Araque González, G. A., & Henao Villa, C. F. (2018). Relación entre TIC, TAC y TEP y el aprendizaje colaborativo en Instituciones de Educación Superior: Estudio de caso para programas de Ingeniería de Sistemas. En E. Serna, Desarrollo e Innovación en Ingeniería - Tercera Edición (págs. 424-431). Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación.
- Gamboa Mora, M. C., Briceño Martínez, J. J., & Camacho González, J. P. (2015). Caracterización de estilos de aprendizaje y canales de percepción de estudiantes universitarios. *Opción*, 509-527.
- García Cué, J. L., Santizo Rincón, J. A., & Alonso García, C. M. (2009). Uso de las TIC de acuerdo a los estilos de aprendizaje de docentes y discentes. *Revista Iberoamericana de Educación*, 1-14.
- González Garza, B., Hernández Castañón, M. A., & Castrejón Reyes, V. (2017). Estilos de aprendizaje para el desarrollo de competencias en estudiantes de la Licenciatura en enfermería. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 1-18.

- Henao Villa, C. F., García Arango, D. A., Aguirre Mesa, E. D., González García, A., Bracho Aconcha, R., Solórzano Movilla, J. G., & Arboleda López, A. P. (2017). Multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad en la formación para la investigación en ingeniería. *Revista Lasallista de Investigación*, 179-197.
- IBM Corp. (2015). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY.
- Isaza Valencia, L. (2014). Estilos de Aprendizaje: una apuesta por el desempeño académico de los estudiantes en la Educación Superior. *Encuentros*, 25-34.
- Juárez Popoca, D., Torres Gastelú, C. A., & Herrera Díaz, L. E. (2017). Las posibilidades educativas de la curación de contenidos: una revisión de literatura. *Apertura*, 116-131.
- Meneses Santibón, P. E. (2013). Relación entre estilos de aprendizaje y estilos de pensamiento de profesores universitarios. *Journal of Learning Styles*, 1-20.
- Padilla-Beltrán, J. E., Vega-Rojas, P. L., & Rincón-Caballero, D. A. (2014). Tendencias y dificultades para el uso de las TIC en educación superior. *Entramado*, 272-295.
- Prats Gil, E. (2015). *Teorías de la educación. De la escuela a la sociedad red: hacia una pedagogía 3.0*. Cataluña: Universidad Abierta de Cataluña.
- Ramírez-León, Y. & Ortega-Carrillo, J. A. (2010). Diseños Didácticos Adaptativos a los Estilos de Aprendizaje en Plataformas de Teleformación. En García, J. y otros (Eds.) *Actas del IV Congreso Mundial de estilos de aprendizaje* (pp. 447- 462). México: Colegio de Postgraduados Montecillo.
- Ramírez-León, Y. & Ortega-Carrillo, J. A. (2012). Diagnóstico del estilo de aprendizaje predominante basado en minería de datos y el modelo de Felder: aplicaciones al Elearnig 3.0. En F. Guerra et al (coordres.) *Estilos de aprendizaje: Investigaciones y experiencias: Actas del V Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje*, Santander: Ed. Universidad de Cantabria.
- Ramírez-León, Y. (2019). Identificación de estilos de aprendizaje para la adaptación de un ambiente eLearning. *Hamut'ay*, 6 (2), 126-140.
- Renes, P., Echeverry, L. M., Chiang, M. T., Rangel, L., & Geijo, P. M. (2013). Estilos de enseñanza: un paso adelante en su conceptualización y diagnóstico. *Journal of Learning Styles*, 1-15.
- Samaja, J. (2012). *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Eudeba.
- Sanjurjo, L. (2012). Socializar experiencias de formación en prácticas profesionales: un modo de desarrollo profesional. *Praxis Educativa*, 22-32.
- Sternberg, R. (1997). *Thinking Styles*. Cambridge: Cambridge University Press.

A influência da tecnologia no golfe – um estudo comparativo ao longo de duas gerações

Manuel Au-Yong-Oliveira¹

mao@ua.pt

¹ GOVCOPP, Department of Economics, Management, Industrial Engineering and Tourism, University of Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal.

Pages: 1017–1030

Resumo: Este estudo é sobre a tecnologia e o desporto. No caso em concreto é sobre a influência da tecnologia no golfe. Para aferirmos o impacto da tecnologia no golfe foram feitas entrevistas a dois grupos de jogadores – jogadoras profissionais senhoras e jogadores profissionais homens seniores (com mais de 50 anos e a jogar no circuito dos seniores). As entrevistas (num total de 44) foram feitas em dois principais palcos de competição, ambas no Reino Unido e no verão de 2019. Foram feitas as mesmas questões a ambos os grupos e o grupo de senhoras (maioritariamente millennials) mostrou-se mais aberto a novas tecnologias no âmbito do treino, nomeadamente ao uso do TrackMan. O TrackMan surgiu primeiro na indústria militar e permite agora também rastrear a trajetória do taco e da bola numa tacada de golfe (surgiu para rastrear balas e mísseis mas entretanto já é usada esta tecnologia para outros fins, incluindo o golfe, o baseball e o futebol). Desta forma, o estudo mostra que as gerações mais velhas poderão estar mais alheadas de tecnologias mais recentes – não só na sociedade, de forma geral, mas também no desporto.

Palavras-chave: desporto, golfe, tecnologia, TrackMan, mudança, treino, performance.

The influence of technology in golf – a comparative study involving two generations

Abstract: This study is about technology and sport. Namely, the study is about the influence of technology in golf. In order to ascertain the impact of technology in golf interviews were performed with two groups of players – professional women golfers and senior professional male golfers (over 50 years of age and playing the senior circuit). The interviews (to a total of 44) were performed at two main international competitions, both in the UK and in the summer of 2019. The same questions were posed to both groups and the ladies (mostly millennials) showed themselves to be more open to new technologies to be used in training. The technology referred to is called TrackMan. TrackMan-type technology appeared first in the military industry, to track bullets and missiles, and has since been transferred to sport – including to golf, baseball and football. This technology may track the path of both

the ball and the club before, during and after impact. The study shows that older generations may be more alienated from more recent technologies – not only in society in general but also in sport.

Keywords: sport, golf, technology, TrackMan, change, training, performance.

1. Introdução

Este estudo surge no seguimento de outros estudos sobre golfe feitos pelo autor. O interesse pelo golfe existe porque o autor já foi um jogador de alta competição, nesta modalidade, e enveredou mesmo pelo profissionalismo, embora por pouco tempo, na década de 1990. Ficou sempre a curiosidade pelo o que leva à criação de um(a) jogador(a) de topo mundial. Será a motivação, o talento, ou as infraestruturas existentes? Este estudo analisa o uso de certas infraestruturas tecnológicas com o intuito de se melhorar a *performance*.

Foram feitas 44 entrevistas pessoais, pelo autor, a dois grupos de jogadores – senhoras (quase todas millennials) e homens (jogadores seniores com mais de 50 anos). O palco das entrevistas foram dois torneios importantes dos respetivos circuitos internacionais, ambos jogados em Inglaterra, perto de Londres, no verão de 2019.

Conclui-se que o uso da tecnologia difere nos dois grupos, e que os mais velhos poderão ser considerados mais alheados das tecnologias de treino mais recentes. Por outro lado, poderá dizer-se que os jogadores mais velhos preferem treinar e jogar com aquilo que sempre usaram – sem mudar as abordagens para treinarem com novas tecnologias de ponta. Poderá ser mais sábia esta perspetiva, mas não deixa de ser diferente. Note-se que esta diferença entre o uso de tecnologia pelos mais jovens versus os mais velhos existe em variadas facetas da sociedade, e não só no golfe – um desporto que permite ter carreiras muito longas e por isso revelando-se muito interessante para o tipo de estudo como este – que pretende contrapor mudanças ao longo do tempo e entre gerações – e também em relação à tecnologia.

2. Revisão da literatura

Temos vivido uma transformação digital – que poderá ser vista como uma oportunidade ou como uma ameaça. O impacto da tecnologia vê-se mais nos chamados millennials (Au-Yong-Oliveira e Gonçalves, 2017; Au-Yong-Oliveira et al., 2018) – que constituirão o grupo etário em maior número de entre os nossos alunos do ensino superior, incluindo nos programas doutorais. No entanto, o impacto da tecnologia não se vê só nos millennials, pois muitos de nós, incluindo os nascidos antes de 1980, estão conectados à Internet 24 horas por dia e sete dias por semana. A própria usabilidade das plataformas online é uma área de muita investigação – pois as plataformas devem ser acessíveis a todos os consumidores e utentes – para todos termos, por exemplo, acesso ao comércio eletrónico – incluindo os cegos (Gonçalves et al., 2018).

Não há dúvidas sobre como a tecnologia mudou a forma de comunicarmos e de estarmos em sociedade (Au-Yong-Oliveira et al., 2015). Não nos referimos somente às redes sociais

online nem aos smartphones que todos nós, porventura, teremos connosco em todos os momentos do dia (Au-Yong-Oliveira et al., 2019). A tecnologia também permite que não saíamos de casa, se assim o quisermos, sendo assim um garante de maior segurança, em determinadas cidades ou países ditos perigosos (e.g. Rio de Janeiro, no Brasil) (Au-Yong-Oliveira et al., 2018).

A tecnologia está a tornar mais eficiente uma série de interações necessárias ao negócio. Por exemplo, nas farmácias já se vêem robôs a dispensar medicamentos (Caetano da Rosa et al., 2018). Fica assim mais tempo para o atendimento de qualidade da parte do farmacêutico. O serviço melhora.

Nas empresas uma área de crescente importância e transformação está ligada ao marketing – que se vê cada mais digital (Teixeira et al., 2017, 2018). O marketing digital tem dado maior poder aos profissionais de marketing, que cada vez mais têm mais informação sobre os seus consumidores, numa era em que se discute a privacidade dos cidadãos e os limites que devem ser impostos para garantir essa privacidade. O marketing agora não para, não dorme. Consumidores podem estar online a qualquer hora do dia e em qualquer um dos quatro cantos do mundo – a fazer compras e a mostrar interesse nos produtos da empresa.

A música também tem sido alvo de investigação na área da tecnologia, surgindo esta como uma forma de prolongar carreiras e de evitar lesões – pois a tecnologia pode medir de forma mais eficaz qual a melhor posição de treino ao longo do tempo de forma a evitar lesões muscular esqueléticas (Silva et al., 2019).

Qual o efeito da tecnologia no desporto? Tem tido um impacto importante?

De facto, as mudanças consequentes da tecnologia também chegaram ao desporto – nomeadamente ao golfe, onde a tecnologia tem permitido a *performance* chegar a novos patamares. O autor viveu outras épocas e testemunhou em primeira mão as mudanças tecnológicas na modalidade. A figura 1 é de uma bola de tempos passados e a figura 2 é de uma bola moderna. A bola com que se joga é um elemento muito diferenciador dos desempenhos conseguidos. Para além de durarem muito mais tempo as bolas atuais também voam mais longe e com um caminho mais certo (menos afetado pelo vento e pelo efeito empregue por uma técnica menor). Será interessante saber a importância da tecnologia para o atleta de alta competição no golfe – que tecnologias usam e como encaram a tecnologia no âmbito do seu desporto?

Uma pesquisa na base de dados Scopus com as palavras-chave “golf” e “technology” revelou que houve pesquisa ligada ao golfe, mas não ligando tecnologia e *performance*, na perspetiva dos jogadores, muito menos ao longo de gerações diferentes de jogadores.

Umek e Kos (2018, p.389), por exemplo, estudam “*different real-time biofeedback applications in sport*”, com *smart equipment*, para melhorar o processo de aprendizagem motor, incluindo para o golfe. É usado um protótipo de um *smart golf club*, com sensores integrados. Como esta tecnologia ainda está em fase de protótipo o objetivo desse estudo é diferente do objetivo do nosso estudo. O nosso estudo procura aumentar o conhecimento sobre o uso de tecnologias específicas, atualmente, no golfe, e qual a perspetiva de jogadores profissionais sobre as mesmas (na prática).



Figura 1 – Uma bola antiga



Figura 2 – Uma bola moderna (Titleist.com, 2019)

Hwang et al. (2019) declaram que à medida que o golfe fica mais popular, o interesse na análise e correção da postura do movimento do golfe aumenta. Discutem a análise com sistemas 3D, com tecnologia que captura o movimento (com 15 *inertial sensors* e usando uma câmara de profundidade), que é vista como sendo melhor que sistemas 2D (câmaras simples). Resta saber se este tipo de tecnologia poderá beneficiar os jogadores de golfe, sem tornar o jogo demasiado complicado e analítico, o que poderá ser prejudicial à performance.

3. Metodologia

Foi utilizado o método da entrevista pessoal para recolher dados primários em dois eventos de profissionais de golfe – o Staysure PGA Seniors Championship 2019 (jogado de 1 a 4 de agosto 2019, no Clube de Golfe de Londres, no Reino Unido) do Tour Europeu Staysure de jogadores profissionais seniores homens (jogadores com mais de 50 anos) e o British Open 2019 de senhoras profissionais (jogado igualmente de 1 a 4 de agosto 2019, no Clube de Golfe de Woburn, no Reino Unido). Ambos os torneios eram eventos de grande importância para os respetivos circuitos, sendo que o evento de senhoras é mesmo considerado um “major” da modalidade (um torneio de grande importância e projeção mundial, neste caso dotado de um 1º prémio de 600 mil euros para a melhor senhora em campo).

O autor fez entrevistas em 1 e 2 de agosto no Staysure PGA Seniors Championship 2019; e nos dias 3 e 4 de agosto no British Open 2019 de senhoras.

A tabela 1 tem uma listagem dos entrevistados no Staysure PGA Seniors Championship 2019 (um total de 28 entrevistas).

A tabela 2 tem uma listagem das entrevistas feitas no British Open de Senhoras (um total de 16 entrevistas).

Nome do entrevistado	Nacionalidade
David Gilford	Inglaterra
José Coceres	Argentina
Peter Baker	Inglaterra
Paul McGinley	Irlanda
Steen Tinning	Dinamarca
Philip Price	País de Gales
José Manuel Carriles	Espanha
Phil Harrison	Inglaterra
Peter Fowler	Austrália
Barry Lane	Inglaterra
Markus Brier	Áustria
Stephen Dodd	País de Gales
Roger Chapman	Inglaterra
James Kingston	África do Sul
David Shacklady	Inglaterra
Thomas Levet	França
Peter Wilson	Inglaterra
Gary Marks	Inglaterra
Brendan McGovern	Irlanda
Gary Evans	Inglaterra
Tim Thelen	EUA
Darren Prosser	Inglaterra

Nome do entrevistado	Nacionalidade
Andrew Oldcorn	Escócia
Colin Montgomerie	Escócia
Mark McNulty	Irlanda / Zimbabué
Bob May	EUA
David Morland	Canadá
Cameron Montgomerie	Inglaterra – Filho do campeão de golfe Colin Montgomerie e jogador amador de elevado nível

Tabela 1 – Entrevistados – Staysure PGA Seniors Championship 2019

Nome da entrevistada	Nacionalidade
Yu Liu	China
Nuria Iturrioz	Espanha
Teresa Lu	Taipei Chinesa
Jenny Shin	Coreia do Sul
Ally McDonald	EUA
Caroline Hedwall	Suécia
Olivia Cowen	Alemanha
Pavarisa Yoktuan	Tailândia
Morgan Pressel	EUA
Jeongeun Lee 6	Coreia do Sul
Mariajo Uribe	Colômbia
Charlotte Thomas	Inglaterra
Sarah Kemp	Austrália
Maria Torres	Puerto Rico
Cheyenne Knight	EUA
Chris Edwards	Caddie profissional – de Inglaterra - presente e a trabalhar no British Open de Senhoras

Tabela 2 – Entrevistados – British Open de Senhoras 2019

As entrevistas tiveram por base um guião de entrevista que procurou replicar e desenvolver estudos prévios (Mansfield e Oliveira, 1994, 1995), embora com algumas variações, neste caso em relação à tecnologia de jogo usada. As perguntas principais de pesquisa que nortearam este estudo são: 1) Qual a importância da tecnologia no golfe atualmente? 2) Qual a importância da tecnologia para si?

As entrevistas foram todas gravadas em áudio, com permissão. A entrevista mais curta durou somente dois minutos e meio e a entrevista mais longa durou cerca de meia hora. As entrevistas foram todas feitas após o jogo do dia ter terminado.

O facto de termos dois grupos distintos – ou duas amostras distintas – enriquece o estudo pois podemos assim também comparar duas gerações de jogadores de golfe diferentes. Podemos ter dois olhares sobre o papel da tecnologia no golfe profissional.

4. Resultados do trabalho de campo

4.1. Resultados do trabalho de campo com os jogadores profissionais seniores

Das 44 entrevistas feitas, envolvendo profissionais de golfe, senhoras e homens, em agosto de 2019, fica a certeza da importância da tecnologia no desporto, neste caso no golfe. Foi unânime a perspectiva de que a qualidade dos tacos e das bolas tem evoluído de tal forma que possibilita mesmo que jogadores 30 anos mais tarde continuem a bater a bola a mesma distância que batiam há 30 anos (na altura com bolas e tacos muito mais rudimentares e básicos). Houve até quem dissesse que a tecnologia, neste caso aplicada nos tacos e nas bolas terá estragado o jogo pois tornou-o mais fácil e uniforme. Bons tacos eliminam maus shots, enquanto permitem, ao mesmo tempo, bater muito mais longe; e bolas muito evoluídas deixam de levar tanto efeito lateral (em especial importante em condições de vento forte), tornando as pancadas mais certeiras e, acima de tudo, mais direitas.

Por exemplo, segundo o jogador inglês David Gilford (profissional de golfe desde finais de 1986, e cujo ponto alto da sua carreira foi ganhar o Open Europeu, em Inglaterra, tendo contado com mais outras cinco vitórias no Tour Europeu), o jogo continua basicamente o mesmo, mas a tecnologia mudou o golfe, pois o jogador moderno joga a bola mais longe, devido em parte à tecnologia. O equipamento (por exemplo as “madeiras” agora feitas de metal – ver figuras 3, 4 e 5) também permite manter a bola mais a direito com mais facilidade. Agora o jogo de golfe moderno é para jovens em boa forma física e que batem a bola longe.



Figura 3 – Imagem da cabeça de um driver (o taco para mandar a bola mais longe) moderno de 2019 – vista da face (Golfsupport.com, 2019)



Figura 4 – Imagem da cabeça de um driver (o taco para mandar a bola mais longe) moderno de 2019 – vista de trás (Golfsupport.com, 2019)



Figura 5 – Imagem de madeiras antigas de golfe (hoje os materiais usados são outros) – da década de 1980

Por outro lado, o jogador galês Paul McGinley, profissional há 29 anos, vitorioso em seis associações à Ryder Cup – encontro de dois em dois anos entre os 12 melhores jogadores dos EUA e os 12 melhores jogadores da Europa (jogou três vezes, foi vice capitão duas vezes, e capitaneou noutra ocasião a equipa europeia – tendo saído a equipa da Europa vencedora de todas estas seis vezes) – afirmou que a tecnologia tem ajudado mais os jogadores com elevada velocidade de bola (elevada velocidade de swing), que não era o seu caso (tem um swing mais lento).

O jogador inglês Barry Lane, vencedor de cinco torneios, incluindo o Open da Escócia e o British Masters, enquanto jogador do Tour Europeu regular, partilhou que a tecnologia faz toda a diferença. Profissional desde 1976, diz que o jogo mudou desde os anos 1980 e 1990. Os jogadores agora têm de ser fortes e tentar bater a bola com a máxima força possível. As estatísticas mostram que quem bate mais longe ganha muito mais dinheiro. Por exemplo, se bater 290 jardas (cerca de 265 metros) ganha cerca de 700.000 dólares no tour dos EUA, e quem bate 330 jardas (cerca de 300 metros) ganha cerca de 3 milhões de dólares no tour dos EUA (por ano). Deu ainda o exemplo do Nick Faldo, um dos melhores jogadores de golfe em finais de 1980 e na década de 1990, que não batia muito longe, mas na altura bater longe não era prioritário. O jogo mudou desde então, devido à tecnologia. O Nick Faldo controlava muito bem a bola, mas não batia nada longe comparado com a era do Tiger Woods (1997 em diante). Em finais da década de 1980 um jogador comprido batia a bola pouco mais de 250 jardas (cerca de 230 metros). O golfe não era um jogo de potência (não era um “power game”). Os jogadores planeavam o seu jogo no campo, os pontos exatos para onde queriam bater para terem as melhores hipóteses de fazerem um bom resultado. Agora o jogo estragou-se, trata-se [quase] somente de bater longe. A bola é fenomenal, os tacos são muito bons, e isto até beneficia, claro, os jogadores seniores, que terão menos força. De notar que com a idade os jogadores têm um movimento um pouco diferente dos jogadores mais jovens. Alguns jogadores são mais beneficiados pela tecnologia do que outros. Para quem bate a bola na subida, a tecnologia ajuda; para quem bate na descida, não ajuda, segundo o Barry Lane. Os jogadores seniores conseguem bater a bola longe devido ao seu equipamento. Antigamente, por exemplo, as cabeças dos tacos eram pequenas, agora são enormes. Dantes, com tacos em madeira, tinha que se bater a bola mesmo do centro do taco (no “sweetspot”), se não a bola não andava nada longe. Hoje em dia as “madeiras” são feitas de titânio e de outros materiais metálicos. O que beneficia muito os jogadores.

4.2. Discussão da pesquisa com os jogadores profissionais seniores

Curiosamente, e entre os jogadores mais velhos, não se falou muito sobre equipamentos que ajudam os treinos, nomeadamente o TrackMan. O TrackMan é um radar aplicado ao golfe que permite analisar e diagnosticar os movimentos do golfe. A análise baseia-se em factos e dá outra confiança ao jogador / treinador. Antigamente, a análise teria que ser baseada naquilo que o professor ou treinador via – uma observação visual baseada na experiência e na capacidade de captar informação de um movimento (“swing”) executado por vezes extremamente rápido e difícil de acompanhar. Isso melhorou com a aparição do gravador de vídeo, que permitia ver o movimento de golfe em câmara lenta. Agora, com o TrackMan, há toda uma série de dados fornecidos pelo impacto na bola e pelo ângulo de ataque na pancada efetuada e seu efeito sobre o voo da bola. Este equipamento específico existe há cerca de 15 anos e vai na versão TrackMan 4.

Por ser relativamente recente entende-se, no entanto, o motivo pelo qual não é popular na geração mais velha (maiores de 50 anos). Verifica-se assim, por isso, e também no desporto, uma maior dificuldade das gerações mais velhas em aderir a tecnologias novas que os possam ajudar – tal como foi apurado noutros estudos anteriores e noutras áreas de intervenção humana (ver por exemplo Gonçalves e Oliveira, 2010).

O TrackMan 4 (Trackmangolf.com, 2019) (figura 6) tem mesmo dois radares separados (Dual Radar Technology – um radar para rastrear o taco, e outro radar para rastrear a bola) para fornecer informação ao jogador e treinador. Este equipamento evoluiu da indústria militar, onde eram já usados radares para rastrear o caminho de balas e mísseis. Desta forma, a tecnologia passou assim a ser usada para também rastrear bolas de golfe em movimento.



Figura 6 – Imagem do TrackMan - Dual Radar Technology (Trackmangolf.com, 2019)

O Trackman é um dispositivo que se monta por trás do jogador e que tem o tamanho de um computador portátil. Na verdade, consegue medir todos os aspetos do movimento do taco (antes, durante e após o impacto – caminho seguido pelo taco, ângulo da face do taco, caminho do movimento – “swing” – e efeito empregue e ainda onde a bola entra em contacto com o taco, entre outros). Mede também a trajetória da bola e onde esta termina (medindo a distância incluindo quantos metros andou pelo ar e quantos metros rolou pelo chão, por exemplo, e qual a curvatura da bola jogada – se em arco da direita para a esquerda ou vice-versa).

O Trackman fornece dados e gráficos a um smartphone ou computador, conforme a preferência. Jogadores podem inclusive comparar os seus dados a jogadores de topo

mundial ou então a outros jogadores de um nível semelhante. De notar que o TrackMan já é usado, de forma mais recente, noutros desportos, como por exemplo o baseball e o futebol.

Embora seja um equipamento caro (custa a partir de cerca de 20 mil dólares, nos EUA) há jogadores de golfe que o usam e possuem a nível individual. Noutros casos clubes de golfe têm uma versão do equipamento, que disponibilizam aos seus alunos durante sessões de treino específicos e com um professor credenciado.

4.3. Resultados e discussão do trabalho de campo com as jogadoras profissionais (senhoras)

As jogadoras de golfe profissionais entrevistadas, algumas delas no seu auge de carreira, outras ainda por lá chegar, mostraram uma postura algo diferente dos jogadores seniores entrevistados, no que concerne a tecnologia. Uma vez que eram mais jovens (em média cerca de 30 anos), não se recordavam, por exemplo, de outros tempos em que o material era outro, porventura mais fraco e mais inibidor da *performance*. Eram, na sua grande parte, jovens millennials e por isso habituadas a usar a atual tecnologia, disponível para jogarem e treinarem o seu jogo. Por serem mais jovens usavam a tecnologia atual – tacos e bolas de última geração – de forma natural e sem questionarem o presente nem o passado.

Uma jogadora referiu, de forma espontânea, que estava aquela semana em Inglaterra, longe de sua casa, noutro continente, e que para manter a sua técnica apurada tinha por hábito filmar o seu movimento e mandar os vídeos via WhatsApp ao seu treinador. Ora, assim, o seu treinador podia dar feedback sobre algum eventual problema que visse. Esta metodologia, aliás, era usada por mais do que uma das jogadoras na amostra (uma jogadora, da Austrália, dado que ia pouco a casa, por ser muito longe, disse que isso era fundamental, mas nada como ir a casa mesmo... A tecnologia não substitui o contacto pessoal e físico). Era também uma questão de confiança, pois assim as jogadoras mantinham-se “perto” do seu treinador, dos seus conselhos, apesar de estarem muitos quilómetros de casa.

Outra jogadora, igualmente habituada a jogar em vários continentes (situação habitual nos(as) jogadores(as) de topo pois só assim conseguem jogar nos melhores torneios nos vários circuitos) referiu que mantinha uma relação profissional com mais do que um treinador que dispunha de acordo com o lugar da competição (exemplo: Ásia versus EUA). Ora, isto pressupõe uma abordagem diferente da anterior, e terá certamente as suas vantagens, pois nada há como o contacto pessoal. No entanto, a tecnologia permite tornar o treino mais simples, eventualmente dispensando o uso múltiplo de treinadores.

Em relação ao equipamento TrackMan, mencionado na secção anterior, algumas das jogadoras entrevistadas tinham o seu próprio equipamento, outras trabalhavam com o da sua academia. No entanto, todas conheciam a tecnologia, apesar de não se mostrarem, surpreendentemente, muito “dependentes” dela; ou então simplesmente se mostravam habituadas ao conceito, usado para os seus treinos. Uma jogadora em particular afirmou que não trabalhava com o TrackMan, mas que o seu treinador sim usava-o.

O grupo de senhoras mostrou também, de forma geral, relações de maior proximidade com os seus treinadores e demais equipa de apoio (treinador físico, psicólogo e

nutricionista, por exemplo). De notar que algumas jogadoras tinham um treinador para as várias facetas do jogo – jogo comprido (para bater a bola longe), jogo curto (aproximação ao green e ao buraco) e jogo de putting (meter a bola no buraco, uma vez no green).

5. Conclusões e sugestões de pesquisa futura

Foram feitas um total de 44 entrevistas a duas amostras diferentes – uma no auge da sua carreira e outra numa fase diferente, jogando num circuito de seniores. Houve diferenças interessantes encontradas nos dois grupos de entrevistados – os mais velhos versus as mais jovens. Em relação à tecnologia, o grupo de jovens senhoras mostrou uma postura de aceitação do que havia, sem claro questionar como se jogava em tempos passados. O equipamento mais moderno tipo TrackMan, de apoio ao treino, era visto como sendo parte integrante do mesmo, pelas jovens jogadoras, com toda a naturalidade. Os jogadores mais velhos parecem depender mais deles próprios, quer em termos técnicos, quer em termos psicológicos (a grande parte não recorria a psicólogos, e muitos nem treinador de técnica tinham). “Se eu ainda não conheço o meu jogo nesta fase da minha carreira estou em apuros!” era a postura de mais do que um jogador sénior entrevistado. Por outro lado, os seniores usavam a tecnologia disponível – tacos e bolas “de ponta” – mas a sua relação com a tecnologia não passava muito disso.

Finalmente, dada a diversidade de jogadores entrevistados, de muitos e diversos países (ver tabelas 1 e 2), podemos concluir que o desporto permite uma aproximação entre culturas, pois as questões do guião de entrevista foram compreendidas por todos. Adicionalmente, a tecnologia de jogo (tacos e bolas) parece aproximar gerações, enquanto que métodos de treino mais avançados poderão mostrar diferenças entre gerações.

Em relação a outras tecnologias – por exemplo, o uso de Shot Scope para dar feedback e estatísticas sobre o jogo de forma contínua – não foi encontrada evidência se a usavam ou não – quer num ou noutro grupo. Sugere-se que seja explorada o uso desta tecnologia num estudo futuro.

Agradecimentos

Gostava de agradecer a revisão do texto pelo José Miguel Gonçalves, cujo interesse pelo golfe tem sido inspirador.

Este trabalho foi apoiado pela unidade de investigação em Governança, Competitividade e Políticas Públicas (UID/CPO/04058/2019), financiada por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Referências

Au-Yong-Oliveira, M., Branco, F., Costa, C. (2019). A evolução cultural graças à adoção da tecnologia e ao fenómeno “Mix-Tech” – Um estudo exploratório baseado na observação. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, N.º E17, 01/2019, 854-869.

- Au-Yong Oliveira, M., Gonçalves, R. (2017). Restless millennials in higher education – A new perspective on knowledge management and its dissemination using IT in academia. *WORLDICIST*, Porto Santo, 11-13 April. In: Rocha, A., Correia, A.M., Adeli, H., Reis, L.P., Costanzo, S. (Eds.), *Recent advances in information systems and technologies*, vol.2., Advances in Intelligent Systems and Computing (Book of the AISC series), vol. 570. Springer, pp.908-920.
- Au-Yong-Oliveira, M., Gonçalves, R., Martins, J., Branco, F. (2018). The social impact of technology on millennials and consequences for higher education and leadership. *Telematics and Informatics*, 35(4), July, 954-963.
- Au-Yong-Oliveira, M., Moutinho, R., Ferreira, J.J.P., Ramos, A.L. (2015). Present and future languages – How innovation has changed us. *Journal of Technology Management and Innovation*, 10(2), 166-182.
- Caetano da Rosa, R., Au-Yong-Oliveira, M., Gonçalves, R., Branco, F. (2018). Um caso de estudo do setor farmacêutico em Portugal - A implementação de um sistema automatizado na Farmácia Giro para aumentar a competitividade. The proceedings of the 13th Iberian Conference on Information Systems and technologies (CISTI 2018), Cáceres, Spain, June, pp.1-6.
- Golfsupport.com (2019). Imagem disponível em: [https://golfsupport.com/golf-clubs/golf-drivers/taylormade-m6-drivers?pogi%5B24509%5D=134047&pogi%5B24474%5D=143241&pogi%5B25399%5D=159729&glCountry=PT&glclid=EAIAIQobChMI1a_6sfrR5QIV15rVCh1U9ggIEAQYASABEgITsPD_BwE#googtrans\(en|pt\)](https://golfsupport.com/golf-clubs/golf-drivers/taylormade-m6-drivers?pogi%5B24509%5D=134047&pogi%5B24474%5D=143241&pogi%5B25399%5D=159729&glCountry=PT&glclid=EAIAIQobChMI1a_6sfrR5QIV15rVCh1U9ggIEAQYASABEgITsPD_BwE#googtrans(en|pt)), acedido a 05-11-2019.
- Gonçalves, R., Au-Yong Oliveira, M. (2010). Interacting with Technology in an Ever More Complex World: Designing for an All-Inclusive Society. In: Wagner, C. (Editor), *Strategies and technologies for a sustainable future*, Boston, World Future Society, pp.257-268.
- Gonçalves, R., Rocha, T., Martins, J., Branco, F., Au-Yong Oliveira, M. (2018). Evaluation of e-commerce websites accessibility and usability: an e-commerce platform analysis with the inclusion of blind users. *Universal Access in the Information Society*, 17(3), 567-583. Springer.
- Hwang, S., Ko, K.-R., Pan, S.B. (2019). Motion data acquisition method for motion analysis in golf. *Concurrency Computation*, article number e5215.
- Mansfield, R., Oliveira, M.A. (1994). Being the best: attitudes and motivation amongst the World's leading golfers. Proceedings of the 2nd International Federation of Scholarly Associations of Management (IFSAM) – Texas, USA, 17-20 August, pp.153-154.
- Mansfield, R., Oliveira, M.A. (1995). Distinguishing the great from the good: a study of the World's leading golfers. British Academy of Management Annual Conference, Sheffield University Management School / Sheffield Business School, Inglaterra, 11-13 setembro. Artigo publicado nas proceedings da conferência, pp.1-10.

- Silva, E., Au-Yong-Oliveira, M., Fonseca, P., Garganta, R., Bochmann, C. (2019). A tecnologia ao serviço da música – Um estudo no sentido de se evitar lesões e maximizando-se a performance. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, N.º E17, 01/2019, 349-362.
- Teixeira, S., Branco, F., Martins, J., Au-Yong-Oliveira, M., Moreira, F., Gonçalves, R., Pérez-Cota, M., Jorge, F. (2018). Main factors in the adoption of digital marketing in startups - An Online Focus Group Analysis. The proceedings of the 13th Iberian Conference on Information Systems and technologies (CISTI 2018), Cáceres, Spain, June, pp.1-5.
- Teixeira, S., Martins, J., Branco, F., Gonçalves, R., Au-Yong-Oliveira, M., Moreira, F. (2017). A Theoretical Analysis of Digital Marketing Adoption by Startups. 6th International Conference on Software Process Improvement, CIMPS 2017, October 18-20, Mexico. J. Mejia et al. (eds.), *Trends and Applications in Software Engineering*, Advances in Intelligent Systems and Computing (Book of the AISC series), vol. 688, Springer, pp.94-105.
- Titleist.com (2019). Titleist PRO V1. Imagem disponível em: <https://www.titleist.com/golf-balls/pro-v1-pro-v1x#V>, acedido a 05-11-2019.
- Trackmangolf.com (2019). Imagem disponível em: https://trackmangolf.com/products/trackman-4?gclid=CjwKCAjw8ZHsBRA6EiwA7hw_sf3FNCXo7psak6jIljFGEP2mV7WGCj1WraIPi7fTSh9q3d_KoycqHxoCP6oQAvD_BwE, acedido a 20-09-2019.
- Umek, A., Kos, A. (2018). Smart equipment design challenges for real time feedback support in sport. *Mechanical Engineering*, 16(3), 389-403.

La e-research en el proceso de recogida y análisis de datos en el estudio de caso para la construcción de entornos personales de trabajo y aprendizaje

María Ramírez Sánchez¹, Edwin Rivas Trujillo², Víctor Hugo Medina García³

mariaramirezsanchezo7@gmail.com, erivas@udistrital.edu.co, vmedina@udistrital.edu.co

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. 110231, Colombia.

² Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. 110231, Colombia.

³ Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. 111121, Colombia.

Pages: 1031–1041

Resumen: En el proceso educativo las actividades de e-research son de gran aceptación y aplicación en cursos mediados por TIC; la incorporación paulatina de internet y las tecnologías digitales en las prácticas investigadoras educativas va acompañada de toda una serie de expectativas de revolución de la ciencia. A través de las expectativas se abren espacios para la intervención y transformación de las prácticas epistémicas de la investigación social; un proceso que se denomina e-research. Más allá de facilitar o automatizar tareas, la incorporación de estas tecnologías plantea toda una serie de soluciones metodológicas y epistémicas para la construcción de Entornos Personales de Trabajo y Aprendizaje soportado en TIC.

Palabras-clave: A E-research, estudio de caso, Metodología, método docente, casos, fases.

E-research in the process of data collection and analysis in the case study for the construction of personal work and learning environments

Abstract: In the educational process, e-research activities are widely accepted and applied in ICT-mediated courses; The gradual incorporation of the Internet and digital technologies in educational research practices is accompanied by a whole series of expectations of revolution in science. Through the expectations open spaces for the intervention and transformation of the epistemic practices of social research; a process that is called e-research. Beyond facilitating or automating tasks, the incorporation of these technologies raises a whole series of methodological and epistemic solutions for the construction of Personal Work and Learning Environments supported by ICT.

Keywords: E-research, case study, Methodology, teaching method, cases, phases

1. Introducción

La e-research consiste en la interpretación de un amplio rango de datos producidos y recogidos acerca de los estudiantes para orientar su progresión académica, predecir actuaciones futuras e identificar elementos problemáticos. El objetivo de la recolección, registro, análisis y presentación de estos datos es posibilitar que el investigador pueda adaptar de manera rápida y eficaz las estrategias educativas al nivel de necesidad y capacidad de cada alumno. Por otro lado, pretende también aprovechar la gran cantidad de datos producidos por los estudiantes en el estudio de caso. En general, la información aportada permite personalizar la acción formativa y diseñar EPTAs acordes con las necesidades, intereses y formas de interacción de docentes y estudiantes. El registro estadístico de la actividad de estudiantes y docentes permite también identificar puntos conflictivos de un proceso de enseñanza-aprendizaje.

2. Características de la metodología

Cuando se acerca al procedimiento y a los instrumentos de recogida y análisis de datos, se hace desde un método que permite el diseño experimental a favor de la metodología de estudio de casos que busca comprender los fenómenos que se dan en situaciones educativas reales y naturales. La investigación electrónica (e-research) en esta investigación supone una reconfiguración de la actividad académica en la que se incluye la adopción de herramientas tecnológicas que permitan el manejo de datos y la gestión de la colaboración científica al tratar de las nuevas metodologías de investigación derivadas del uso de Internet. Las tecnologías actuales permiten integrar diversas fuentes de datos y manejar técnicas que contribuyen a obtener nuevos conocimientos. Existe un gran potencial en la investigación haciendo uso de la red ya que ésta permite la posibilidad de compartir, integrar y acceder a datos masivos.

El uso de la e-research en este estudio de caso permite obtener información sobre cómo interactúan los estudiantes con el contenido, con los materiales de aprendizaje, así como con las redes sociales que se forman, la interacción con el profesorado, con los compañeros, etc.

La aplicación de esta técnica en esta investigación educativa tiene implicaciones importantes ya que se hace necesario modificar los métodos estadísticos tradicionales y además se precisan nuevas herramientas para analizar las redes sociales, los grados de conectividad, la evaluación de los atributos cualitativos de los discursos, las contribuciones de cada alumno en relación a un tema de discusión, etc.

Las recientes investigaciones que se dan en entornos electrónicos de enseñanza-aprendizaje que funcionan como redes sociales (Harris et.al.2014; López, R. (2014); Panckhurst & Marsh (2014); Vidal et.al, (2014); Colás-Bravo, et.al,(2015); Gómez-Aguilar, et, al. (2015) adoptan la e-research que combina procedimientos de análisis de patrones estructurales de participación con métodos de análisis de contenido de las contribuciones de los participantes.

Hay muchas herramientas disponibles para el análisis de redes sociales en el contexto de aprendizaje. En esta investigación se ha usado el programa UCINET para analizar los indicadores de conectividad, el cual es un software para el análisis de datos de redes sociales. Éstos también pueden ser utilizados para trazar el crecimiento de la comunidad en el estudio de caso y para identificar a los estudiantes que no se mantienen activos. Las fronteras cada vez más difusas entre el aprendizaje formal e informal lleva a que una misma persona pueda estar participando en un curso de un campus virtual, seguir una serie de twitters y blogs, comunicarse en foros con los compañeros del curso y de forma sincrónica con amigos y colegas, etc.

3. El proceso de recogida de los datos en el estudio de caso

En este numeral se presenta el proceso de recolección de los datos desde la e-research. Primero se detalla la elaboración y validación de los instrumentos de recolección de datos utilizados en el estudio de caso y que responden a los objetivos 1 y 2 (Diseñar un Entorno Personal de Trabajo y Aprendizaje (EPTA) para el Módulo Entornos, Instrumentos y Prácticas de Aprendizaje Virtual (MEIYPAV) que permita analizar cómo los estudiantes construyen y dan sentido a sus EPTA en unas actividades de enseñanza-aprendizaje formales; estructurar un diseño pedagógico que haga referencia a las orientaciones pedagógicas sobre la utilización de herramientas, servicios, recursos, contactos autonomía, autocontrol y la autoexigencia en las actividades de enseñanza-aprendizaje en el Módulo Entornos, Instrumentos y Prácticas de Aprendizaje Virtual (MEIPAV)). Posteriormente se presenta la elaboración y validación del Cuestionario de Enriquecimiento (CE), el instrumento de recolección de datos utilizado para ampliar los resultados del estudio de caso y responder al objetivo 3 (Definir un diseño de interfaces comunicativas para entornos personales de trabajo y aprendizaje que permita la comunicación sincrónica y asincrónica, la creación de espacios para el trabajo en grupo colaborativo, compartir información, debatir en foros y crear documentos de manera colaborativa en los diferentes niveles de acceso (privado, amigos, grupos, comunidad y público) cruzándose con los espacios individuales, grupales y comunes que permite la plataforma Debian).

A modo de síntesis, la Figura 1 muestra el mapa conceptual que recoge las ideas principales de los numerales anteriores.

3.1. Procedimiento de recogida de datos en el estudio de caso (objetivos 1 y 2)

La metodología de estudio de caso tiene como característica que recoge variables de interés y múltiples fuentes de evidencia que guían la recogida de los datos (Álvarez, et.al. 2015). Por este motivo, se plantea el e-research que combina metodología cuantitativa y cualitativa en la fase de recolección de datos.

Por otra parte, según (Álvarez, et.al. 2015) en el estudio de caso es necesario incluir un protocolo donde estén reunidos los instrumentos de recogida de datos y sus fases de aplicación. Estas fuentes de evidencia pueden ser documentos, registros, entrevistas, observaciones directas, observaciones participantes y artefactos físicos (Álvarez, et.al. 2015).

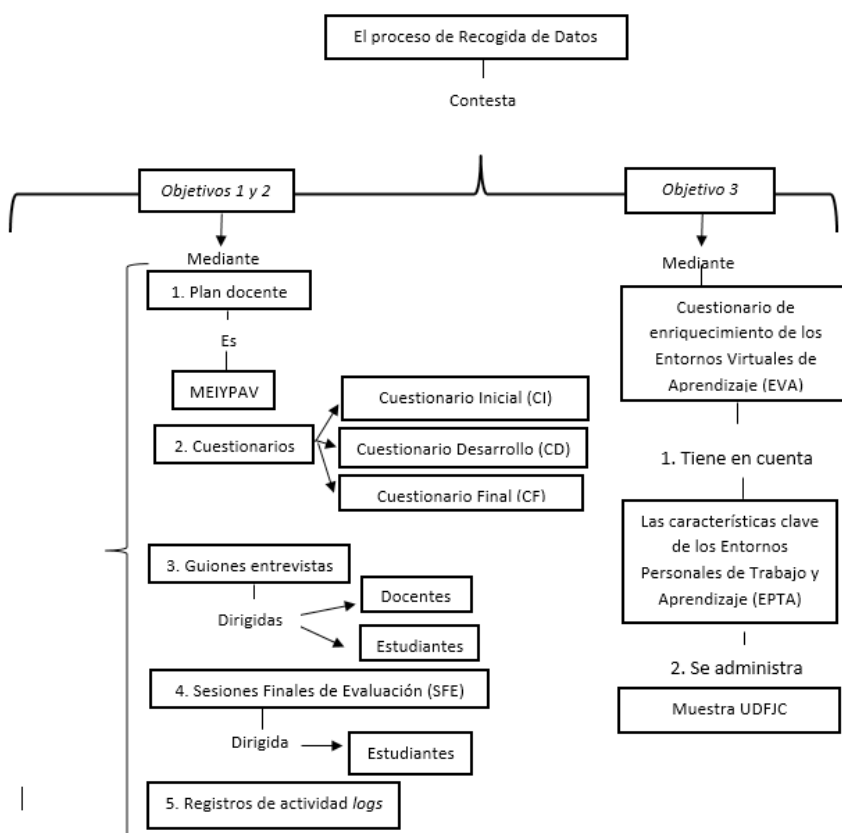


Figura 1 – Mapa conceptual- numerales anteriores. Fuente: Ramírez, S., et.al, (2019).

En la presente investigación se ha realizado una recogida sistemática de información sobre los siguientes aspectos:

- La documentación concerniente a la secuencia didáctica, incluidos los planes docentes y los materiales de consulta de los estudiantes.
- El estado inicial de los estudiantes en el uso de internet y las TIC.
- Las valoraciones de los estudiantes durante el desarrollo de las secuencias didácticas.
- Las valoraciones de los estudiantes y los docentes una vez finalizadas las secuencias didácticas.
- Los registros de actividad (logs) proporcionados por el entorno una vez finalizadas las secuencias didácticas.

3.1.1. Fases para la recogida de datos en el estudio de caso

El estudio de caso requiere establecer de manera previa todas las acciones que se llevarán a cabo de inicio a fin. Como consecuencia, se han planteado y realizado tres fases para la recogida de la información en el caso. En la Tabla 1 se relacionan las acciones de cada fase con los instrumentos de recogida de datos.

FASE 1. INFORMACIÓN PREVIA AL INICIO DE LA INVESTIGACIÓN	
ACCIONES	INSTRUMENTOS
Obtención de documentación relativa a la secuencia didáctica.	Plan docente de la secuencia didáctica y materiales de consulta.
Análisis del estado inicial de los estudiantes en el uso de las TIC.	CUESTIONARIO INICIAL (CI).
FASE 2. INFORMACIÓN DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	
ACCIONES	INSTRUMENTOS
Recogida de la valoración de los estudiantes de la introducción de los EPTA	Cuestionario de Desarrollo (CD).
FASE 3. INFORMACIÓN AL FINAL DE LA INVESTIGACIÓN	
ACCIONES	INSTRUMENTOS
Recogida de la valoración de los estudiantes de la introducción de los EPTA.	Cuestionario Final (CF). Guión Entrevista Estudiantes (EE). Sesión de Final de Evaluación (SFE).
Recogida de la valoración de los docentes de la introducción de los EPTA.	Guión Entrevista docentes (ED).
Recogida de registros automáticos de actividad en el entorno por parte de estudiantes y docentes.	Registros de actividad (logs).

Tabla 1 – Las fases de la recogida de información e instrumentos. Fuente: Ramírez, S., et.al, (2019).

3.1.2. Elaboración y validación de los instrumentos del caso

El objetivo del CI es analizar el estado inicial de los estudiantes en relación al uso de internet y de las TIC. El CI se ha elaborado tomando como referencia dos cuestionarios validados dirigidos a estudiantes universitarios sobre el uso de internet y de las TIC:

- Perception of the students and teachers on the use of the ICT in the processes of change and innovation in teaching. University of La Laguna (Kolbakova, (2014)
- Design and Validation of the Smartphone and University. Lectures' view (SUOL) questionnaire. University of Cantabria (Underwood, (2016).

El objetivo del CD es analizar el uso y la valoración por parte de los estudiantes de la introducción de los EPTA durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

El CD hace referencia a dos situaciones de enseñanza-aprendizaje formales muy concretas y por tanto no existe ningún cuestionario ya validado. Por lo tanto ha sido

necesario diseñar uno específico para la investigación. No obstante, para su realización se ha tomado como referencia el cuestionario administrado en el caso piloto realizado en la Universidad de Cantabria en el año 2017 y la revisión bibliográfica realizada. De esta se destaca especialmente cuatro estudios:

- Influences on developer participation in the debian software ecosystem. (Ververs, et, al.(2014).
- Cloud prediction of protein structure and function with PredictProtein for Debian (Kaján, et.al,(2016).
- Dialogue and deliberation (Makau & Marty, (2016).
- The Debian Administrator's Handbook, Debian Wheezy from Discovery to Mastery (Hertzog & Mas, (2017).

El objetivo del CF es analizar el uso y la valoración por parte de los estudiantes de la introducción de los EPTA al final del desarrollo de la secuencia didáctica. Este cuestionario pretende conocer cómo van evolucionado los EPTA de los estudiantes a lo largo de la secuencia instruccional.

El objetivo de la Entrevista Docentes (ED) y de la Entrevista Estudiantes (EE) es aclarar los resultados del CD y del CF mediante una recogida de datos cualitativa al final de la secuencia didáctica.

Al finalizar la secuencia instruccional del estudio de caso se realizó una sesión de evaluación con todos los estudiantes participantes. Se trataron los siguientes temas: I) sugerencias para los desarrolladores de Debian, II) sugerencias en relación al diseño tecno-pedagógico (plan docente, metodología, actividades, evaluación) y a los docentes (qué hubieran podido realizar y no hicieron) y III) sugerencias para los estudiantes (qué hubieran podido realizar y no hicieron). Los estudiantes previamente a la sesión prepararon los temas que se iban a tratar.

3.2. Elaboración y validación del Cuestionario de Enriquecimiento del EPTA (objetivo 3)

La presente investigación se enmarca en la introducción de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en la educación universitaria, y más concretamente, en el fortalecimiento de procesos de alfabetización digital a través del aprendizaje desarrollado en sistemas que ayudan a los estudiantes a tomar el control y gestión de su propio aprendizaje. Esto incluye el apoyo a los estudiantes para fijar sus propios objetivos de aprendizaje, gestionar su aprendizaje, la gestión de los contenidos y procesos, comunicarse con otros en el proceso de aprendizaje y lograr así los objetivos de aprendizaje. Su objetivo general es construir un Entorno Personal de Trabajo y Aprendizaje (EPTA) soportado en TIC orientado hacia actividades de enseñanza-aprendizaje formales de educación superior.

El proceso ha comenzado con la introducción de un Entorno Personal de Trabajo y Aprendizaje institucional (proceso que de ahora en adelante se entenderá como i-PLE) dentro de una secuencia instruccional concreta denominada EPTA. Este EPTA ha sido pre-configurado por la universidad Distrital Francisco José de Caldas definida como la línea base para empezar a construir la presente propuesta de EPTA). La secuencia instruccional se ha denominado: Módulo Entornos, Instrumentos y Prácticas de

Aprendizaje Virtual (proceso que de ahora en adelante se entenderá como MEIYPAV) del Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica (PCIE) coordinado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (institución que de ahora en adelante se entenderá como UCFJC).

El desarrollo y análisis del estudio de caso ha dado como resultado en un mejor conocimiento de las características clave de los EPTA: Organización didáctica de las unidades y aprendizajes esperados en torno a actividades de aprendizaje; prolongación de la clase presencial a través de herramientas Web 4.0 y/o plataformas tecnológicas; articulación de las actividades presenciales y en línea; secuenciación de las actividades presenciales y en línea en etapas con grado creciente de complejidad.

Esto ha conducido a ampliar la investigación y a analizar cómo se pueden enriquecer los Entornos Virtuales de Aprendizaje (proceso que de ahora en adelante se entenderá como EVA). Para ello, se han analizado las valoraciones de una amplia muestra de estudiantes sobre la posibilidad de incorporar a los EVA de la UDFJC, las características clave de los EPTA: Variables personales; Variables sobre el conocimiento en el uso de las TIC; Variables sobre la accesibilidad a internet; Variables sobre usos en internet; Variables sobre tipos de contenidos (texto, audio, imagen y vídeo); Variables sobre el uso de organizadores personales (diario, agenda, calendario); Variables sobre frecuencia de uso de herramientas TIC y funciones de estas y el grado en que valoran la utilidad para sus aprendizajes.

La presente investigación se enmarca en la introducción de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en la educación universitaria, y más concretamente, en el fortalecimiento de procesos de alfabetización digital a través del aprendizaje desarrollado en sistemas que ayudan a los estudiantes a tomar el control y gestión de su propio aprendizaje. Esto incluye el apoyo a los estudiantes para fijar sus propios objetivos de aprendizaje, gestionar su aprendizaje, la gestión de los contenidos y procesos, comunicarse con otros en el proceso de aprendizaje y lograr así los objetivos de aprendizaje. Su objetivo general es construir un Entorno Personal de Trabajo y Aprendizaje (EPTA) soportado en TIC orientado hacia actividades de enseñanza-aprendizaje formales de educación superior.

El proceso ha comenzado con la introducción de un Entorno Personal de Trabajo y Aprendizaje institucional (proceso que de ahora en adelante se entenderá como i-PLE) dentro de una secuencia instruccional concreta denominada EPTA. Este EPTA ha sido pre-configurado por la universidad Distrital Francisco José de Caldas definida como la línea base para empezar a construir la presente propuesta de EPTA). La secuencia instruccional se ha denominado: Módulo Entornos, Instrumentos y Prácticas de Aprendizaje Virtual (proceso que de ahora en adelante se entenderá como MEIYPAV) del Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica (PCIE) coordinado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (institución que de ahora en adelante se entenderá como UCFJC).

El desarrollo y análisis del estudio de caso ha dado como resultado en un mejor conocimiento de las características clave de los EPTA: Organización didáctica de las unidades y aprendizajes esperados en torno a actividades de aprendizaje; prolongación de la clase presencial a través de herramientas Web 4.0 y/o plataformas tecnológicas;

articulación de las actividades presenciales y en línea; secuenciación de las actividades presenciales y en línea en etapas con grado creciente de complejidad.

Esto ha conducido a ampliar la investigación y a analizar cómo se pueden enriquecer los Entornos Virtuales de Aprendizaje (proceso que de ahora en adelante se entenderá como EVA). Para ello, se han analizado las valoraciones de una amplia muestra de estudiantes sobre la posibilidad de incorporar a los EVA de la UDFJC, las características clave de los EPTA: Variables personales; Variables sobre el conocimiento en el uso de las TIC; Variables sobre la accesibilidad a internet; Variables sobre usos en internet; Variables sobre tipos de contenidos (texto, audio, imagen y vídeo); Variables sobre el uso de organizadores personales (diario, agenda, calendario); Variables sobre frecuencia de uso de herramientas TIC y funciones de estas y el grado en que valoran la utilidad para sus aprendizajes.

El desarrollo y análisis de la introducción de los EPTA en la secuencia instruccional ha resultado en un mejor conocimiento de las características clave de los PLE. Esto ha derivado en ampliar la investigación realizada en el estudio de caso y a analizar cómo se pueden enriquecer los i-PLE institucionales con las características clave de los PLE.

Para ello se ha administrado el Cuestionario de Enriquecimiento del EPTA (CE). Este tiene como objetivo analizar las valoraciones de una muestra suficientemente amplia de estudiantes sobre la posibilidad de incorporar a los entornos virtuales de aprendizaje (EPTA) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC) las características clave de los i-PLE y el grado en que valoran la utilidad para sus aprendizajes.

Se ha administrado el CE a los estudiantes del PCIE de la UDFJC matriculados durante el primer semestre 2018-I. Se excluyeron de la muestra los estudiantes que participaron en el estudio de caso.

Para su elaboración se han seguido las siguientes fases: I) detección y definición de una serie de características clave de los EPTA con una serie de variables o funciones asociadas, II) redacción del cuestionario, III) primera revisión con el director de tesis, IV) segunda revisión con los miembros del Grupo de Investigación GESETIC de la UDFJC, V) validación del instrumento con expertos, VI) cálculo de su fiabilidad y VII) elaboración final del cuestionario.

Se han definido una serie de características clave de estos entornos alrededor de tres dimensiones o factores: I) diseño del entorno, II) diseño pedagógico, III) interfaces comunicativas.

Diseño del entorno: el estudiante decide cuáles son las herramientas, servicios, recursos y contactos que necesita; las personaliza y organiza según sus necesidades e intereses y

Diseño pedagógico: el estudiante y no la universidad tiene el control de las diferentes herramientas, servicios, recursos y contactos y decide con quién las comparte.

Interfaces comunicativas:

- Estos entornos posibilitan la comunicación síncrona y asíncrona, la creación de espacios para el trabajo en grupo colaborativo dónde compartir información, debatir en foros y crear documentos de manera colaborativa.

- Cuando se aprende utilizando internet se fusiona el aprendizaje formal con el aprendizaje informal dando paso a los entornos fusionados.
- Los EPTA no tienen sentido como una metodología estrictamente universitaria, sino que se conciben como una manera no únicamente durante estudios de educación superior sino durante toda la vida profesional.

Estas características clave de los EPTA han sido elaboradas teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada sobre el objeto de estudio y la experiencia obtenida en el estudio de caso. Para cada una de estas características se definió una serie de funciones o variables asociadas tal como se muestra en la Tabla 2.

DISEÑO DEL ENTORNO
Agregar al entorno herramientas, recursos o servicios externos para mi uso personal.
Etiquetar los diferentes contenidos que publico en el entorno.
Organizar mis herramientas de trabajo y contenidos en un espacio personal.
Organizar mis documentos en carpetas o subcarpetas.
Personalizar el entorno con diferentes temas, colores, idiomas o tipografías.
DISEÑO PEDAGÓGICO
Decidir con quién comparto mis contenidos, herramientas y recursos.
Decidir con quién comparto los contenidos, herramientas y recursos de los espacios grupales.
INTERFACES COMUNICATIVAS
Publicar diferentes contenidos (textos, vídeos, imágenes, audios) en el entorno.
Compartir contenidos, herramientas y servicios con estudiantes y docentes del curso.
Comunicarme en tiempo real con el resto de participantes del entorno.
Crear espacios de trabajo grupal dónde poder realizar los trabajos grupales.
Crear de manera colaborativa textos escritos.
Compartir contenidos con estudiantes de otros cursos.
Compartir con futuros empleadores un portafolio que recoja trabajos realizados durante los estudios y un currículum vitae.
Invitar al entorno a personas externas a la UDFJC.
Publicar en el entorno contenidos informales no relacionados con el curso (aficiones, eventos sociales, ocio).
Acceder al entorno una vez acabado el curso o la carrera.

Tabla 2 – Características de los EPTA y funciones asociadas, versión 1 CE.

Fuente: Ramírez, S., et.al, (2019).

3. Conclusiones

Las expectativas que acompañan a las TIC's y a internet habilitan espacios para intervenir en las prácticas de producción de conocimiento educativo. Se trató de mostrar cómo la incorporación de las TIC's a las prácticas epistémicas de los científicos sociales

permite el despliegue de pretensiones singulares y distintas para la producción de datos, así como la construcción de objetos experimentales que desbordan los límites de las técnicas convencionales. En este proceso, los investigadores se enfrentan con múltiples problemáticas que ponen a prueba las metodologías de sus técnicas y métodos. Si bien éstos constituyen un conjunto de normas y orientaciones para la producción de datos, son también un espacio común de accesibilidad.

Al proceso transversal de incorporación de las TIC's a las prácticas epistémicas de la investigación social se ha denominado e-research; un proceso arriesgado que, sin embargo, está pleno de posibilidades. Los científicos sociales que incorporan estas tecnologías afrontan la necesidad de justificar los cambios en sus métodos y técnicas; por ello la única posibilidad que tienen de legitimar esas decisiones que desafían las convenciones establecidas es mantener una actitud reflexiva sobre sus prácticas de investigación. La incorporación de TIC's se convierte de esta manera en un espacio para reflexionar sobre las convenciones de los métodos y ampliar las formas de aproximarse e indagar en la realidad.

Por último, se pretende demostrar la gran variedad de medios de comunicación y herramientas para procesar la información en esta Era Evolutiva de Sistematización, las cuales brindan al estudiante mayores bases de formación e investigación en las diferentes áreas del conocimiento.

Referencias

- Álvarez Á, C; San Fabián Maroto, J. (2015). La elección del estudio de caso en investigación educativa. En: *Gazeta de Antropología*, N° 28 /1, 2015, Artículo 24. Recuperado en: <http://hdl.handle.net/10481/20654>
- Colás-Bravo, P., González-Ramírez, T., & De Pablos-Pons, J. (2015). Juventud y redes sociales: Motivaciones y usos preferentes. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 20(40), 15-23.
- Gómez-Aguilar, M., Roses-Campos, S., & Farias-Batlle, P. (2015). El uso académico de las redes sociales en universitarios. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 19(38), 131-138.
- Harris, L., Earl, G., Phethean, C. & Brughmans, T. (2014). Building Personal Learning Networks through Event- Based Social Media: A Case Study of the SMiLE Project. PLE Conference 2014. Recuperado en: <http://revistas.ua.pt/index.php/ple/article/view/1444>
- Hertzog, R., & Mas, R. (2017). *The Debian Administrator's Handbook, Debian Wheezy from Discovery to Mastery*. Lulu. com.
- Kaján, L., Yachdav, G., Vicedo, E., Steinegger, M., Mirdita, M., Angermüller, C., ... & Reisinger, E. (2016). Cloud prediction of protein structure and function with PredictProtein for Debian. *BioMed research international*.
- Kolbakova, F. (2014). The use of ICT among the teachers of English in Estonia by comparison with Europe and Asia. Recuperado en: http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/46990/Master's_Thesis_Kolbakova.pdf

- López, R. M. (2014). *Sloodle. Conexión de entornos de aprendizaje*. Barcelona: Editorial UOC.
- Makau, J. M., & Marty, D. L. (2016). *Dialogue and deliberation*. Waveland Press.
- Panckhurst, R., & Marsh, D. (2014). Utilización de redes sociales para la práctica pedagógica en la enseñanza superior impartida en Francia: Perspectivas del educador y del estudiante. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 8 (1), 233 - 252.
- Ramírez, Sánchez, M., Rivas, Trujillo, E., Lopez, Lezama, J. (2019). La e-research en el proceso de recogida y análisis de datos en el estudio de caso.
- Underwood, AH. (2016). Advantages of using ICT in learning-teaching processes. Recuperado en: <http://edtechreview.in/trends-insights/insights/959-advantages-of-using-ict-in-learningteachingprocesses>.
- Ververs, E., Van Bommel, R., & Jansen, S. (2014). Influences on developer participation in the debian software ecosystem. In *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems* (pp. 89-93). ACM.
- Vidal, C. E., Martínez, J. G., Fortuño, M. L., & Cervera, M. G. (2014). Actitudes y expectativas del uso educativo de las redes sociales en los alumnos universitarios. *RUSC*, 8(1), 171.

Telederecho: una alternativa de justicia restaurativa a través del uso de las tecnologías de información y comunicaciones, en las cárceles de la ciudad de Medellín

José Antonio García Pereáñez¹

jgarciap@coruniamericana.edu.co

¹Docente Investigador – Corporación Universitaria Americana, Cra.50AN°65-21, 050012, Medellín, Colombia.

Pages: 1042–1050

Resumen: Se describe el Telederecho como experiencia en la utilización de recursos jurídico – tecnológicos, accesibles a la población carcelaria de la ciudad de Medellín para la valoración de los casos y la defensa de presidiarios a distancia. Telederecho, mantendrá un consejo jurídico permanente por vía chat, integrado por prestigiosos abogados de las distintas ramas del derecho. Un rastreo sobre el sistema carcelario y penitenciario en la ciudad de Medellín plantea la situación deplorable y dramática que viven los internos en estos centros, ante una política de reinserción y resocialización de la vida social del recluso. Se sugiere construir un tejido social a partir de la herramienta interactiva del derecho, aplicando la – Justicia Restaurativa – cuyo objetivo será una administración de la justicia para los privados de la libertad, para víctimas y funcionarios que velan por su seguridad y para la sociedad en general.

Palabras-clave: Telederecho; justicia restaurativa; inclusión social; educación jurídica; reinserción; ciberespacio.

e-law: an alternative of restorative justice using information and communications technologies, in the prisons of the city of Medellín

Abstract: Telelaw is described as an experience in the use of legal - technological resources, accessible to the prison population of the city of Medellín for the assessment of cases and the distance-defense of prisoners. Telelaw, will maintain a permanent legal counsel via chat, composed of prestigious lawyers from the different branches of law. A trace on the prison and prison system in the city of Medellín raises the deplorable and dramatic situation that inmates live in these centers, given a policy of reintegration and resocialization of the prisoner's social life. It is suggested to build a social fabric based on the interactive tool of law, applying –Restorative Justice– whose objective will be an administration of justice for those deprived of liberty, for victims and officials who ensure their safety and for society in general.

Keywords: Telelaw; restorative justice; social inclusion; legal education; reintegration; Cyberspace.

1. Introducción

En Colombia, el sistema carcelario y penitenciario presenta una situación deplorable y dramática, no ha logrado cumplir con los desafíos de lo que debe ser una administración eficiente y eficaz de los centros de reclusión; ni con las políticas de reinserción y resocialización de la vida social del recluso. Así lo demuestran las estadísticas del INPEC; el escenario de las cárceles al cierre del primer trimestre de 2018 no era el más positivo, según el informe del Inpec que aseveraba, a marzo del

2018, los cupos penitenciarios eran de (79.723) y la población alcanzaba los 115.563 internos(as), arrojando una sobrepoblación de 35.840 personas, que se traduce en un índice de hacinamiento de 45,0%.

Ante este panorama el Estado ha implementado diversas estrategias dentro de la política criminal del país, desde la construcción de centros carcelarios que permitan albergar unos 18.000 detenidos, o el traslado de reclusos a diferentes centros para descongestionar las cárceles; en materia penal el Ministerio de Justicia ha generado políticas para disminuir el número de detenidos en las cárceles, tales como la salida de condenados por delitos menores, la vigilancia con brazalete electrónico y la casa por cárcel. Y cómo si fuera poco, a muchos sindicados les llega la absolución después de años de estar tras las rejas. En esa categoría existen 18.000 colombianos que han demandado al Estado. Las indemnizaciones podrían sumar 23 billones de pesos. Ante esta realidad, el

Exfiscal General de la Nación, Néstor Humberto Martínez se refirió sobre este asunto así: “Si queremos avanzar en una estructura penitenciaria que dignifique al hombre y cumpla con los fines de la pena, Colombia tiene que avanzar a una reforma integral de su política criminal”.

Una de las opciones que se vienen implementando ante el hacinamiento en las cárceles de Colombia - con pocas repercusiones en el Estado de Opinión - es el de la Justicia Restaurativa. Es decir, para que se logre en instancias jurídicas un reconocimiento sobre los mecanismos alternativos de solución de conflictos, se hace necesario: la sensibilización de la población y de las instituciones, la preparación de escenarios, la formación de facilitadores idóneos, la identificación de los casos susceptibles de resarcir el daño causado a la víctima, el restablecimiento de las relaciones vulneradas y la reintegración del victimario, entre otras.

Con todo, el propósito del proyecto Telederecho: Una posibilidad de “Justicia restaurativa” en Colombia, es construir una sinergia entre la programación de software interactivo mediado por el ciber-espacio y el Estado de Derecho Penitenciario Colombiano, con el mantenimiento de una “Plataforma Virtual”, posibilitada con un lenguaje de programación en conceptos jurídicos, que proporcione un manual práctico a individuos y organizaciones interesados en desarrollar una alternativa de inclusión social en las cárceles del país, que le exija a quienes están privados de la libertad, que generen compromiso, desempeño, y disposición, para que su proceso de reinserción llegue a feliz término. A esto se le ha denominado Telederecho.

El punto de partida de este proyecto es adoptar como política pública la inclusión social de los privados de la libertad, y se ha iniciado en la ciudad de Medellín. Esto a través de una herramienta tecnológica que proporcione de manera eficaz y segura la educación jurídica en derechos para los presidiarios, las víctimas, los funcionarios y la sociedad civil, como aporte para el cambio social del país. Se necesita una administración de justicia eficiente y oportuna, preocupada por preparar al recluso para la inserción social. Esta propuesta sugiere construir un tejido social a partir de la herramienta interactiva del derecho, que integre a

funcionarios, víctimas y sociedad, en beneficio de los privados de la libertad, con el propósito de su formación y resocialización.

El propósito de Telederecho, es generar y propiciar un entorno de enseñanza - aprendizaje de quienes están en el sistema carcelario y penitenciario de la ciudad de Medellín, puesto que la aplicación de una justicia restaurativa tiene como intención, lograr una administración de la justicia para a los privados de la libertad, para las víctimas, para los funcionarios que velan por su seguridad y para la sociedad en general. Telederecho es una apuesta entre el ejercicio del Derecho Colombiano y su acceso, por medio del ciberespacio. Se trata de una comunicación de vanguardia interactiva sostenida mediante la web interespacial, entre el operador jurídico y los privados de la libertad en cárceles de la ciudad de Medellín. Mediante el ejercicio interactivo del Telederecho se invocarán para los privados de la libertad, los beneficios del Código Penitenciario y Carcelario en Colombia, según la Ley 65 de 1993, especialmente lo consagrado en el artículo 144.

2. El objeto

El Telederecho es una apuesta entre el ejercicio del Derecho Colombiano y su acceso por medio del ciberespacio. Se trata de una comunicación de vanguardia interactiva sostenida mediante la web interespacial, entre el operador jurídico y los privados de la libertad en cárceles de la ciudad de Medellín. Esto ofrece una mejor alternativa de aplicación de la justicia restaurativa dado que permite que los detenidos se preparen en conocimientos jurídicos, que les permitan asumir una actitud ética en un contexto de reinserción social.

Pare esto, es fundamental contar con la participación de los funcionarios de las cárceles- para este caso de la “Cárcel del Pedregal” en Medellín, donde se puso en marcha una prueba piloto del proyecto- puesto que pasan buena parte del tiempo con los detenidos. Ellos son importantes en la recuperación de los reclusos, sobre todo en el resarcimiento del daño causado. También, la herramienta de Telederecho, es un buen instrumento de comunicación entre abogados y estudiantes de derecho para el estudio de casos en el Consultorio Jurídico de la Corporación Universitaria Americana y ciudadanos “privados de la libertad” en la ciudad de Medellín, como gestión de la información y el conocimiento.

Telederecho está encaminado a proponer una estrategia de Justicia Restaurativa entendida como una “forma de justicia penal que considera el crimen o la falta, más como un acto contra la persona o la comunidad, que contra el Estado. La víctima juega en ella un papel fundamental y puede beneficiarse de una forma de restitución a cargo del responsable” (Zehr, 2007, pág. 45)

Por tanto, es así, como a través del Telederecho se intenta dar soluciones a los graves problemas que se presentan en las cárceles de Medellín, debido al hacinamiento. En tal sentido, este instrumento tecnológico se fundamenta en la Constitución Política en su artículo 250, numeral 7, que manifiesta:

“En ejercicio de sus funciones la Fiscalía General de la Nación, deberá: velar por la protección de las víctimas, los jurados, los testigos y demás intervinientes en el proceso penal; la ley fijará los términos en que podrán intervenir las víctimas en el proceso penal y los mecanismos de Justicia Restaurativa” (Congreso de la República, 1991). Es importante hacer énfasis en el hecho, que la justicia restaurativa en Colombia se ha orientado bajo el paradigma del ámbito penal, es así, que Código de Procedimiento Penal, en sus artículos 518 a 521, Artículo 518. Trazan las disposiciones de la Justicia restaurativa, *“entendida como todo proceso en el que la víctima y el imputado, acusado o sentenciado participan conjuntamente de forma activa en la resolución de cuestiones derivadas del delito en busca de un resultado restaurativo, con o sin la participación de un facilitador. Se entiende por resultado restaurativo, el acuerdo encaminado a atender las necesidades y responsabilidades individuales y colectivas de las partes y a lograr la reintegración de la víctima y del infractor en la comunidad en busca de la reparación, la restitución y el servicio a la comunidad”*. (Congreso de la República de Colombia, 2000) Finalmente, este ejercicio de justicia restaurativa tiene como objetivo devolverle a la sociedad mejores personas, en pleno uso de sus capacidades. Y esto es posible implementarse con el instrumento tecnológico del Telederecho.

Telederecho es una plataforma virtual que se convierte en una herramienta de enseñanza y aprendizaje que favorecerá la búsqueda de información, así como la orientación, guía que permitirá a quienes están privados de la libertad aprender desde el entorno virtual y así obtener beneficios en el pago de su pena. Esta plataforma virtual será adaptada a las circunstancias de modo y lugar, es decir que el referente serán los reclusos quienes tendrán la posibilidad de asumir Telederecho como una herramienta cognitiva, que a través de la transferencia de normativas jurídicas (códigos jurisprudencia y doctrina) se le proporcione el aprovechamiento de información jurídica que le permita construir su conocimiento.

Aprender a hacer, desde la virtualidad, es una tarea importante puesto que el sujeto de la enseñanza de la virtualidad es la persona, que como individuo tiene que hacerse y hacer, en unos tiempos determinados por la administración de la cárcel. El detenido tendrá la posibilidad de acceder a la plataforma para estudiar los contenidos multimedia o en simulación, montar trabajos, interactuar y responder a pruebas y a escenarios de construcción y responsabilidad social.

Aprender a ser desde la virtualidad en Telederecho, no es otra cosa que centrarse en la persona del detenido, es ahondar en su problemática. A través de la plataforma se diseñan unos contenidos éticos que contribuyen en la formación integral del individuo, que le favorecen en su desarrollo como persona, con un pensamiento y juicio crítico, sobre sí mismo, los otros y las circunstancias propias de su vida, que redunden en beneficio de la sociedad.

Aprender a convivir, es prácticamente la tarea o finalidad de Telederecho, la plataforma virtual e interactiva, estimula la cooperación, los detenidos serán favorecidos con la

consultoría y el trabajo con docentes y estudiantes del consultorio jurídico de Corporación Universitaria Americana, de Medellín, ciudad donde se dio inicio a este proyecto. La interacción se desarrolla desde múltiples escenarios virtuales que pretenden formar individuos que salgan de los centros penitenciarios con objetivos claros frente a la convivencia social, la resocialización y la justicia restaurativa.

Mediante el ejercicio interactivo del Telederecho se invocarán para los privados de la libertad, los beneficios del Código Penitenciario y Carcelario en Colombia, según la Ley 65 de 1993, especialmente lo consagrado en el artículo 144. Los permisos para los “internos” contemplados en el artículo 147, así también, los distintos tipos de salida, si el privado de su libertad respalda la solicitud con un buen comportamiento. Todo lo relacionado con el artículo 149, en cuanto a la franquicia y libertad preparatoria. Así también, se le ayudará a tramitar al interno –si su caso lo amerita- la libertad condicional y la casa por cárcel, según el Código Penal, en sus artículos: 38 y 64. A través de la herramienta de Telederecho mejorarán las condiciones de vida de los ciudadanos “privados de la libertad”, pues se invocarán para ellos descuentos punitivos, según este marco referencial (Congreso de la República de Colombia, 1993):

La privación de la libertad se presenta por dos circunstancias: la primera de ellas en sede de investigación de una conducta punible, es decir impuesta por parte de un Juez Penal Municipal con Funciones de Control de garantías, una medida cautelar personal privativa de la libertad, denominada Detención Preventiva, cuyo desarrollo legal remite a la ley 906 de 2004 (Código de Procedimiento Penal), título IV, régimen de la libertad y su restricción, especialmente el capítulo III “de las medidas de aseguramiento”, art. 306 a 319.

Los beneficios administrativos regulados en la ley 65 de 1993, los cuales se invocarán en el ejercicio de la plataforma virtual e interactiva de Telederecho, son:

Beneficios Administrativos: son todos aquellos derechos que le asisten a las personas condenadas, luego de un tratamiento penitenciario que pasa por cinco fases que son: Observación, diagnóstico y clasificación del interno.

Alta seguridad, que comprende el período cerrado. Mediana seguridad, que comprende el período semiabierto

Mínima seguridad o período abierto de confianza que coincidirá con la libertad condicional

A estas fases se les denomina Sistema Progresivo, según el artículo 144 de la ley 65 de 1993. Los beneficios administrativos que solicitará Telederecho, están descritos en los arts. 147 al 150, de la ley 65 de 1993, así:

Art. 147, permiso hasta de 72 horas:

Procede este beneficio administrativo cuando:

- Que interno se encuentre en fase de mediana seguridad
- Descontar una tercera parte de la pena impuesta
- No tener requerimiento de ninguna autoridad judicial
- No registrar fuga, ni tentativa de ella durante el desarrollo del proceso, ni la ejecución de la sentencia condenatoria

- Haber descontado el 70% de la pena impuesta, tratándose de condenados por delitos de competencia de los Jueces Penales del Circuito Especializado

En cuanto a este último requisito es menester remitirse al art. 35 de la ley 906 de 2004, Código de Procedimiento Penal, que indica la competencia de estos jueces, es decir de que delitos conocen.

- Haber trabajado, estudiado o enseñado durante la reclusión y observado buena conducta, certificado por el consejo de disciplina.

En caso de observar mala conducta durante uno de los permisos o se retarde en la presentación al establecimiento sin justificación, se hace acreedor a la suspensión de dichos permisos, hasta por seis meses, pero si reincide o cometiere un delito o una contravención especial de policía, se le cancelara definitivamente los permisos de este género.

Permiso de salida: artículo. 147 A Y B Ley 65 de 1993, son de dos tipos:

Permiso de 15 días: artículo. 147 A:

El director Regional del INPEC podrá conceder permiso de salida sin vigilancia durante quince (15) días continuos y sin que exceda de sesenta días (60) al año, al condenado que le sea negado el beneficio de libertad condicional, siempre que estén dados los siguientes requisitos:

- Haber observado buena conducta en el centro de reclusión de acuerdo a la certificación que para el efecto expida el respectivo consejo de disciplina o quien haga sus veces
- Haber cumplido al menos las cuatro quintas (4/5) partes de la condena.
- No tener orden de captura vigente. Sin perjuicio de la responsabilidad penal o disciplinaria que le asista al funcionario judicial, se entenderá que el condenado carece de órdenes de capturas, únicamente para efectos de este beneficio, si transcurridos 30 días de haberse radicado la solicitud de información ante las autoridades competentes, no se ha obtenido su respuesta.
- No registrar fuga ni intento de ella durante el desarrollo del proceso o ejecución de la sentencia.
- Haber trabajado, estudiado o enseñado durante el período que
- lleva de reclusión

Permiso de fin de semana, artículo 147 b:

Con el fin de afianzar la unidad familiar y procurar la readaptación social, el director Regional del INPEC, podrá conceder permisos de salida por los fines de semana, incluyendo lunes festivos, al condenado que le fuere negado el beneficio de libertad condicional y haya cumplido las cuatro quintas partes 4/5 de la pena.

Siempre que se reúnen los requisitos señalados en el artículo anterior, estos permisos se otorgaran cada dos semanas y por el período que resta de la condena.

Libertad preparatoria, artículo 148 Ley 65 de 1993:

En el tratamiento penitenciario, el condenado que no goce de libertad condicional, de acuerdo con las exigencias del sistema progresivo y quien haya descontado las cuatro quintas partes 4/5 partes de la pena efectiva, se le podrá conceder la libertad preparatoria para trabajar en fábricas, empresas o con personas de reconocida seriedad y siempre que éstas colaboren con las normas de control establecidas para el efecto.

En los mismos términos se concederá a los condenados que puedan continuar sus estudios profesionales en universidades oficialmente reconocidas.

El trabajo y el estudio sólo podrán realizarse durante el día, debiendo el condenado regresar al centro de reclusión para pernoctar en él. Los días sábados, domingos y festivos, permanecerá en el centro de reclusión.

Antes de concederse la libertad preparatoria el consejo de disciplina estudiara cuidadosamente al condenado, cerciorándose de su buena conducta anterior por lo menos, en un lapso apreciable de su consagración al trabajo y al estudio y de su claro mejoramiento y del proceso de su readaptación social.

La autorización de que trata este artículo, la hará el consejo de disciplina mediante resolución motivada, la cual se envira al Director del INPEC para su aprobación. La dirección del respectivo centro de reclusión instituirá un control permanente sobre los condenados que disfruten de este beneficio, bien a través de un oficial de prisiones o del asistente social quien rendirá informes quincenales al respecto.

Franquicia preparatoria. Artículo 149 ley 65 de 1993:

Superada la libertad preparatoria, el consejo de disciplina mediante resolución y aprobación del Director regional, el interno entrara a disfrutar de la franquicia preparatoria, la cual consiste en que el condenado trabaje o estudie o enseñe fuera del establecimiento, teniendo la obligación de presentarse periódicamente ante el director del establecimiento respectivo. El director regional mantendrá informada a la dirección del instituto nacional, penitenciario y carcelario sobre estas novedades.

Incumplimiento de las obligaciones: Artículo 150 ley 65 de 1993:

Al interno que incumpla las obligaciones previstas en el programa de institución abierta, de fianza, libertad o franquicia preparatorias, se le revocará el beneficio y deberá cumplir el resto de la condena sin derecho a libertad condicional.

Libertad condicional. Artículo 64 Código Penal.

Tienen derecho a la libertad condicional, el condenado que reúna los requisitos establecidos en el artículo

64 del Código Penal así: “el juez previa valoración de la conducta punible, concederá la libertad condicional a la persona condenada a pena privativa de la libertad, cuando haya cumplido los siguientes requisitos:

1. Que la persona haya cumplida las tres quintas (3/5) partes de la pena.
2. Que su adecuado desempeño y comportamiento durante el tratamiento penitenciario en el centro de reclusión permita suponer fundadamente que no existe necesidad de continuar la ejecución de la pena.
3. Que demuestre arraigo familiar y social.

Corresponde al juez competente para conceder la libertad condicional establecer, con todos los elementos de prueba allegados a la actuación, la existencia o inexistencia del arraigo.

En todo caso su concesión estará supeditada a la reparación de la víctima o al aseguramiento del pago de la indemnización mediante garantía, personal, real, bancaria o acuerdo de pago, salvo que se demuestre insolvencia del condenado.

El tiempo que falte para el cumplimiento de la pena se tendrá como período de prueba. Cuando este sea inferior a tres años, el juez podrá aumentarlo hasta en otro tanto igual, de considerarlo necesario”

Sin embargo, este beneficio está excluido para algunos delitos, que se encuentran enlistados en el artículo 68 A del Código Penal (ley 599 de 2000), tales como el secuestro, la extorsión, el acceso carnal violento y actos sexuales abusivos con víctimas menores de edad, el narcotráfico, el hurto calificado, entre otros.

3. Resultados esperados

Este proyecto se inspira en los modelos de sistema no estructurado, estos se adaptan de manera óptima a entornos en los que coexisten distintos problemas y objetivos pocos claros, así como intereses conflictivos entre los diversos actores interesados. Igualmente se realiza una metodología de modelo orientado a objetos: (UML); lenguaje unificado de modelado, en los que respecta a la implementación efectiva de un sistema de información, la principal ventaja es que se genera en un software fácil de mantener, reutilizar y expandir, al construirse sistemas complejos a partir de componentes individuales. En los propósitos de este estudio, es claro y necesario generar un modelo del sistema de servicios de Telederecho para la inclusión social de los internos e internas de las cárceles del país. La idea central de la Justicia Restaurativa es que ante las secuelas de un delito se alcance una mayor justicia no simplemente por castigar al infractor, sino, además, fomentando y facilitando que los perpetradores entiendan el daño que su delito ha causado a las víctimas y ayuden a repararlo.

La plataforma de Telederecho, propone un Manual sobre Programas de Justicia Restaurativa. Este manual es una de las herramientas prácticas entre las desarrolladas por la UNDOC (2006), para apoyar a los países en la implementación de leyes y en el desarrollo de reformas en materia de derecho penal.

La forma como fue planeado el proyecto Telederecho permitirá la construcción de una sinergia entre la programación de software interactivo mediado por el ciberespacio y el Estado de Derecho Penitenciario Colombiano a través de la “Plataforma Virtual”.

De igual forma se desarrollará un manual práctico con un lenguaje de programación en conceptos jurídicos, para individuos y organizaciones interesados en desarrollar una alternativa de inclusión social en las cárceles del país.

La plataforma de Telederecho permitirá que los reclusos tengan una herramienta de resocialización e inclusión social que les sea útil durante el cumplimiento de la pena y para después del pago de la misma. La forma como es diseñada la plataforma de Telederecho, mejorará las condiciones de vida de los ciudadanos privados de la libertad,

pues se invocarán para ellos descuentos punitivos, así como una formación integral en habilidades que se desarrollarán a través del conocimiento jurídico, encaminadas hacia la formación del ser.

Conclusiones

El proyecto Telederecho, es una posibilidad de aplicación de la justicia restaurativa puede ser utilizado en una variedad de contextos, incluyendo el de la asistencia técnica de la UNDOC y el de los proyectos de construcción de capacidades.

Telederecho es una herramienta que se puede desarrollar con gran efectividad, puesto que ha sido pensada para responder a los problemas complejos de hacinamiento que menoscaban la condición humana, sobre todo en lo referente a la salud, la vulneración de los derechos humanos, las fallas en el servicio médico, así como en la atención jurídica que tienen los reclusos en las cárceles de Medellín – ciudad donde el proyecto inició -.

Finalmente, para quienes hemos estado al frente de este anteproyecto la plataforma virtual de Telederecho, es una gran posibilidad para la inclusión social y la resocialización de los privados de la libertad, de manera auto sostenible y perdurable en el tiempo del ciberespacio, según los sistemas penitenciarios de la ciudad de Medellín.

Referencias

- Congreso de la República de Colombia. (2000). *Código de Derecho Penal*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia.
- Congreso de la República. (1991). Artículo 250. En *Constitución Política de Colombia* (págs. Título 8, capítulo 6). Bogotá: Congreso de la República.
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Código Penitenciario y Carcelario de Colombia - Ley 65 de 1993*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia.
- UNDOC. (13 de Junio de 2006). *Oficina contra la droga y el delito*. Obtenido de www.unodc.org
- Zehr, H. (2007). *Justicia Restaurativa*. Exeter: Good Books.

Gestión de información de la cadena de suministro de productos perecederos: Aplicación de BlockChain

Alejandra Nonzoque Herrera, Laura Carolina Guzmán, José Ignacio Rodríguez

{anonzoqueh, lguzmanq} @correo.udistrital.edu.co, jirodriguez@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Carrera 7 # 40B – 53, Bogotá, Colombia.

Pages: 1051–1064

Resumen: La Cadena de Suministro de productos perecederos tiene como característica su vida útil limitada, parte de la eficiencia de la misma es el manejo de información y la capacidad de generar estrategias conjuntas entre los actores para mitigar las consecuencias negativas de las situaciones emergentes que podrían afectar significativamente el producto final. Este artículo propone un sistema de mejora de gestión de la información basado en el uso de tecnología en puntos estratégicos de la cadena, por medio del análisis cualitativo de los procesos de gestión y los factores que los componen a través de la tecnología del IoT integrada con el BlockChain para el acopio, el almacenamiento y la gestión de la información a lo largo de la cadena de suministro.

Palabras clave: Internet de las cosas, BlockChain, Cadena de suministro, gestión de la información.

Information management of a perishable goods supply chain: BlockChain application

Abstract: The supply chain of perishable products has as characteristic its limited useful life, part of its efficiency is the management of information and the ability to generate joint strategies among the actors to mitigate the negative consequences of emerging situations that could significantly affect the final product. This article proposes an information management improvement system based on the use of technology in strategic points of the chain, as a result of the qualitative analysis of the management processes and the factors that compose them through the IoT technology integrated with the BlockChain for the collection, storage and management of information along the supply chain.

Keywords: Internet of things, BlockChain, Supply chain, management, information.

1. Introducción

El internet es un mecanismo que ha facilitado la comunicación y el intercambio de información a nivel mundial convirtiéndose en una herramienta clave en todos

los ámbitos, sin embargo, una de sus principales falencias es la seguridad que este proporciona, ya que muchas veces la información que se suministra, puede ser expuesta y estar sujeta a fraudes, problemática que se evidencia con el Internet de las cosas (Internet of things – IoT).

La tecnología IoT, que consiste en la conexión digital de los objetos a través de una red, es versátil ante la satisfacción de cualquier necesidad, pero no proporciona la confianza suficiente para suministrar datos relevantes. En el 2009, BlockChain empezó a ser reconocido por la seguridad de manejo que le proporcionaba al Bitcoin, por lo que ha surgido como una opción para ser aplicada en otros campos, como es en el caso de la Cadena de Suministro, en la cual, la heterogeneidad de los actores hace un reto la trazabilidad del recurso.

Uno de los aportes del BlockChain en la cadena de suministro es la trazabilidad de activos fijos en el que cada uno de los actores de la cadena se integra a la red como iguales haciendo seguimiento en tiempo real, mecanismo que ha utilizado empresas reconocidas en la actualidad como es el caso de IBM, que para evitar fraudes emplea el BlockChain a escala con la finalidad de reducir significativamente los costos y la complejidad comercial a nivel mundial, mejorando la gestión de inventarios y minimizando los desperdicios. (H. Wang et al., 2018). Los puntos ciegos dentro de la Cadena generan como consecuencia falsificaciones de los productos que se transportan a lo largo de esta, entre otros problemas, situación que es muy común en la Cadena de Suministro de los medicamentos (Ardura, Artola, & Requena, 2008)

Cada cadena de suministro tiene comportamientos y necesidades particulares como es el caso de la cadena de suministro de productos perecederos. Esta cadena es más compleja que las demás cadenas por la cantidad de variables que hay que analizar (Sanabria Coronado et al., 2017), esto dificulta la utilización de herramientas y tecnologías para la gestión de información y aumenta la probabilidad de pérdidas.

Este artículo busca indagar y exponer cómo el BlockChain puede contribuir en la gestión de la información en la cadena de suministro de productos perecederos.

2. Metodología

Para la realización de la investigación se hizo una revisión del estado de literatura de la temática planteada, empleando palabras clave como “Supply Chain”, “Cadena de Suministro de productos perecederos”, “BlockChain”, “BlockChain en la Cadena de Suministro”, “Eficiencia en la cadena de suministro”, “Supply chain management”.

En la Figura 1, se realiza un paralelo con la cantidad de publicaciones relacionadas con la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS) y BlockChain en los últimos 5 años, donde se establece que las publicaciones sobre BlockChain se encuentran en auge desde el año 2016, mientras que Gestión de la Cadena de Suministro mantiene la tendencia de crecimiento, sin embargo, en la Figura 2, se observó que el desarrollo alrededor de la aplicación de esta tecnología en la Cadena de Suministro (CS) es escaso en comparación con la totalidad de publicaciones de BlockChain.

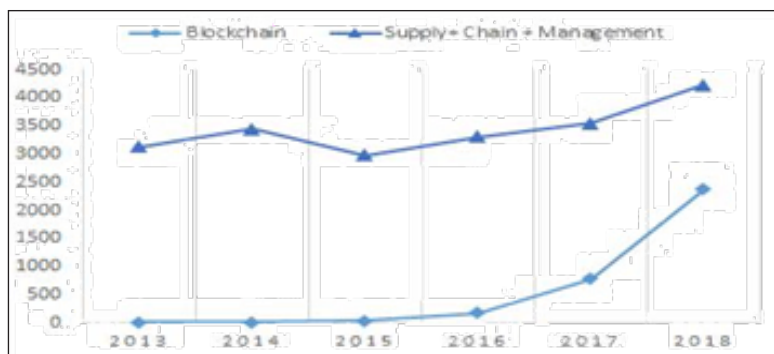


Figura 1 – Paralelo entre la literatura publicada sobre BlockChain y GCS. Fuente: Scopus

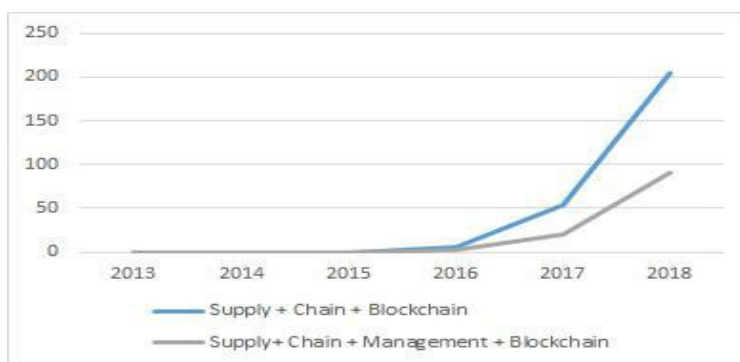


Figura 2 – Paralelo entre la literatura publicada sobre BlockChain y su aplicación en CS y GCS. Fuente: Scopus

Este artículo propone un sistema de mejora en la gestión de la información; objetivo que nace a partir de las falencias identificadas en la cadena de suministro de productos perecederos, por lo que se propone el uso de la tecnología en puntos estratégicos de la cadena donde se genera información relevante que afecta la calidad del producto. Esto mediante el análisis cualitativo de los procesos de gestión y los factores que lo componen se determinó que la tecnología del IoT integrada con el BlockChain es la indicada para el acopio, el almacenamiento y la gestión de la información a lo largo de la cadena.

3. Internet de las cosas (IoT) y BlockChain

El Internet de las cosas, permite observar y comprender el entorno a través de dispositivos que se conectan por medio de una red, brindando formas de comunicación entre máquinas y personas (Banerjee, Lee, & Choo, 2018). El inconveniente con esta tecnología es la falta de seguridad y privacidad debido a que los datos acopiados fluyen a través de un

servidor central usando el internet como medio (Kumar & Mallick, 2018), generando así desconfianza en los usuarios(Longo et al., 2019). El BlockChain podría ser una solución ya que es una opción tecnológica que permite un uso descentralizado(Fernández et al., 2017), de esta forma los usuarios partícipes de la cadena podrán vigilar los movimientos que ejecuten los individuos, esta acción es la que garantiza la seguridad del sistema.

El BlockChain funciona como un registro distribuido en el que cada bloque tiene un récord histórico de los anteriores garantizando así la confiabilidad no solo en la información sino en su origen. Una gran cantidad de individuos pueden observar todos los movimientos que se realizan, asumiendo así el cargo de entidad reguladora ante una posible corrupción en la red, lo que implica que cada transacción es previamente aprobada por todas las partes antes de ser incluida en la cadena.

Se destaca el “ potencial de BlockChain para actuar como depósito de datos para el IoT para mejorar y compartir la visibilidad entre las partes interesadas de la cadena de suministro” (Y. Wang et al., 2019). Por ejemplo en (Banerjee et al., 2018) se postula el uso integrado del IOT y BlockChain en bases de datos compartidas en un grupo de investigación, en donde se descarga un conjunto de datos donde se puede verificar su integridad usando la cadena de bloques para administrar información de la membresía como la dirección, el propietario y la política de uso compartido y así evitar la violación de políticas de privacidad de datos.

Se han creado plataformas que facilitan el uso de esta tecnología, proporcionando soporte para el desarrollo de aplicaciones y herramientas, algunas de las más relevantes son:

Plataforma	Ethereum	Hyperledger fabric	Quorum
Descripción	Plataforma pública diseñada para Consumo masivo, programable para la creación de nuevas aplicaciones.	Plataforma que busca Desarrollar soluciones Para problemas empresariales complejos. Dispone de un portafolio con desarrolladores y vendedores.	Versión De Ethereum centrada en la empresa. Se diferencia de este: Gestión de permisos de red y pares Transacciones mejoradas y privacidad del contrato. Mecanismos de consenso basados en la votación. Mejor presentación.
Aplicación	Desarrollo de aplicaciones descentralizadas: Aplicaciones financieras y mercado de activos.	Aplicaciones bancarias, IoT, Cadena de Suministro, Fabricación y tecnología.	Transacciones En la industria, instituciones bancarias y financieras.
Gobernanza	Desarrolladores	Fundación Linux	Desarrolladores en JC. Solo personas autorizadas pueden ser parte de esta red
Criptomoneda	Ether	Ninguna	Ninguna
Algoritmo de consenso	Proof of work	Plugable framework	Mayoría de votos

<i>Algoritmo de consenso (descripción)</i>	Confirma las transacciones mediante la minería de datos, cada usuario usa un token digital, los mineros compiten entre sí en la creación de bloques.	Marco de referencia conectable, es decir, hace posible agregar o “conectar” otras aplicaciones.	Delega los derechos de voto a otros usando el Smart Contract, al mismo tiempo, también rastrea el estado de todos los nodos de votación. Esto implica mayor velocidad en las tracciones en comparación con Ethereum.
--	--	---	--

Fuente: Autoría propia basada en (Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019; Navarro, 2017; H. Wang et al., 2018)

Tabla 1 – Plataformas BlockChain

3.1. La información en la Cadena de Suministro con BlockChain

Las relaciones de confianza dentro y fuera de la cadena de suministro son la base para la sistematización de la gestión y la mejora de la eficiencia de la cadena (Castillo Mateo, Tamayo Torres, Cabeza Pullés, Roldán Bravo, & Ruiz Moreno, 2016). Una plataforma con tecnología BlockChain provee herramientas como: módulos de consenso, módulo de certificación y almacenamiento de datos distribuidos, lo que permite establecer mecanismos apropiados para compartir información, generar canales de comunicación fluidos, perseguir el balance entre suministro y demanda entre empresas aguas arriba y aguas abajo. En un modelo de gestión sistemático de información basado en BlockChain cada nodo de la red realiza la carga y descarga de sus datos de acuerdo con el intervalo de tiempo y volumen acordado, así mismo en la plataforma de información debe tener la capacidad de actualizar y reorganizar los datos en intervalos regulares para garantizar la precisión y la disponibilidad oportuna de los mismos, siempre en un marco de seguridad de la información (Zhao & Zhao, 2018).

Una de las características de esta plataforma consiste en que, si uno de los nodos se ve comprometido en su seguridad, las redes no se verán afectadas, además que tiene un bajo costo de divulgación de datos y admite cifrado jerárquico.

4. Cadena De Suministro

La Cadena de suministro es el flujo de información y de materiales a lo largo de un conjunto de actores con el fin de ofrecer un bien al consumidor que lo demanda (Castillo Mateo et al., 2016).

Los actores notables en la cadena de suministro son: los proveedores, productores, distribuidores, comercializadores mayoristas y minoristas, entidades de regulación y consumidores (Li & Womer, 2008). Estos actores corresponden a tres eslabones en específico: aprovisionamiento, producción y distribución (Vianchá Sánchez, 2014).

Durante la revisión se encontró que la gestión de la cadena de suministro se puede caracterizar en áreas relacionadas como (Fernández et al., 2017; Wilson & Ortega, 2016):

planeación, aprovisionamiento, distribución, transporte, marketing, almacenamiento, manejo de inventarios, embalaje, mantenimiento y servicio al cliente.

Para este artículo las áreas clave que se desarrollan a lo largo de toda la cadena, están definidas así (Saveen A. Abeyratne, 2016; Wilson & Ortega, 2016):

Planeación: Se refiere a las funciones estratégicas relacionadas con la coordinación de los procesos, la planeación de los recursos y la toma de decisiones para el mejoramiento de la cadena. La planeación implica la integración con áreas de mercadeo, ventas, contabilidad y tecnología.

Aprovisionamiento: El aprovisionamiento desde la perspectiva de la gestión de la cadena de suministro es definido como el manejo oportuno y eficiente de factores logísticos como: suministro para el proceso operativo, control de inventario de suministros, cantidad y frecuencias de aprovisionamiento, selección de proveedores (obtener información sobre proveedores potenciales, establecer criterios de selección, determinar número de proveedores), tiempos de entrega, formas de embalaje, funciones de control y evaluación de las actividades desde la elaboración de órdenes de pedido, desde la solicitud hasta el cobro del mismo.

Gestión de almacenes: La gestión de almacenes comprende el control de entradas, salidas y movimientos en los almacenes, así como el tratamiento de la información generada para la consolidación de estrategias de gestión.

Gestión de existencias: Se encarga del control de existencias a lo largo de cada una de las etapas dentro y fuera del proceso productivo, teniendo en cuenta las necesidades y el valor de oportunidad, incluye la programación de suministros para producción y operaciones, lo que genera flexibilidad a los procesos de producción y distribución.

Servicio al cliente: Es el conjunto de estrategias que una compañía diseña para dar mejor satisfacción a las necesidades y expectativas del cliente interno y externo, teniendo en cuenta el momento y lugar adecuado para cada uno de los productos que fluye a través de la CS, afectando directamente la confianza entre los integrantes de la cadena de valor extendida y el consumidor final (Rivera, Llanes, & Pérez, 2016).

Gestión de transporte y distribución: La gestión en el transporte tiene como objetivo la reducción de impacto ambiental, la reducción de costos operativos, rutas transversales optimizadas, y la promoción de relaciones de colaboración con parámetros de seguridad, regularidad y oportunidad. El transporte como factor integrador en los procesos de abastecimiento y distribución tiene importancia estratégica para la mejora en el servicio al cliente y expansión de la red (Sánchez, 2016).

Adicionalmente, en este artículo la trazabilidad se comprenderá como la vía de conexión a través del flujo de información entre las áreas de gestión en donde cualquier agente de la cadena tiene acceso. Existen tres niveles de trazabilidad: Hacia atrás, interna y hacia adelante. La trazabilidad hacia atrás comprende el origen de las materias primas, la cantidad, la fecha de entrega y la calidad de las mismas, es decir, proveedores y sus productos. La trazabilidad hacia adelante por otra parte hace seguimiento al destino del producto, la información pertinente del número de lote, cantidad de producto entregado, fecha de despacho, naturaleza y localización del cliente (Fernández et al., 2017); Así mismo

la trazabilidad interna revela el recorrido del producto dentro la empresa, desde la recepción de materias primas hasta el despacho de producto terminado (Calvo-Dopico, 2015).

4.1. Importancia de la Gestión de la Información en la Cadena de Suministro

La Cadena de Suministro está conformada por el flujo de capital, el flujo de información y su respectiva logística. El conocimiento de la demanda y las necesidades de los clientes hace parte del aprendizaje organizacional, la información y su correcta gestión resulta relevante para suplir satisfactoriamente esa demanda (Salas, Maiguel, & Acevedo, 2017). Sin embargo, es difícil conocer el estado de la producción y ejecución de los pedidos ascendentes, por lo que las organizaciones deben asumir las pérdidas por incumplimiento y situaciones inesperadas.

En el caso de las Cadenas de Suministro de Productos Perecederos, es vital la buena gestión de la información, ya que este tipo de cadenas es una de las más complejas por la cantidad de variables que se consideran (Sanabria Coronado et al., 2017), como temperatura, propiedades físicas, organolépticas y demás. Una de las características principales de este tipo de cadena es su vida útil tan reducida, por eso es importante la eficiencia en su flujo para no perder las propiedades del producto, es decir, tener un constante mantenimiento de calidad para que llegue en las mejores condiciones al consumidor. Para que esto sea posible se requiere de un adecuado flujo de información para saber a qué clase de factores, tanto externos como internos se está sometiendo el producto y de esta forma tomar las medidas necesarias para su adecuado manejo. Además, que este tipo de cadena tiene una considerable variabilidad en su demanda y sus precios (Pérez Mantilla et al., 2014).

Las pérdidas que se generan en la cadena se dan en su mayoría en los procesos de almacenamiento, empaquetamiento y distribución, esto puede deberse a varios factores como la mala coordinación entre los agentes, la escasa información o el erróneo empleo de la misma, además que no se han utilizado tecnologías necesarias que adapten los lugares o el transporte para mantener las características organolépticas de los productos, sino que se ha realizado el enfoque en reducir los costos con base en la demanda (Sanabria Coronado et al., 2017).

Otra problemática es la localización de las instalaciones, ya que afectan el desempeño de la cadena de productos perecederos, pues la distancia representa una debilidad con respecto a la calidad, costo y tiempo del producto (Validi et al., 2014).

Este artículo tiene como objetivo darle solución a esa problemática por medio de la gestión de la información a través de la implementación de tecnologías que brinden seguridad y facilidad de manejo de la información, teniendo en cuenta que la meta de la gestión de la Cadena de Suministro es maximizar la satisfacción del cliente y establecer relaciones de cooperación a largo plazo y eso se logra por medio de una buena gestión de la información.

5. Aplicación

La gestión de la información es vital en la cadena de suministro ya que permite establecer objetivos claros para todos los actores de la cadena. Por esa razón, es relevante que todos los actores dentro de la cadena se puedan comunicar sin necesidad de terceros y en la actualidad existen tecnologías que podrían ayudar con ese fin.

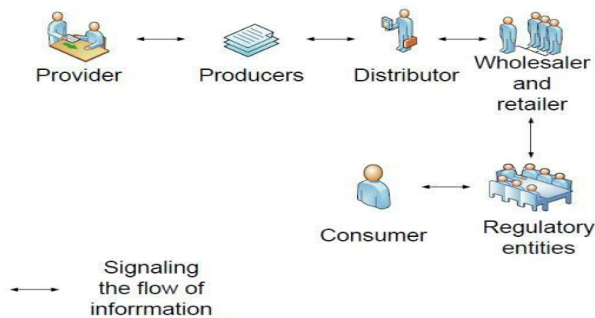


Figura 3 – Comunicación de los actores sin la aplicación de Iota y BlockChain.
Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la figura 3, la información dentro de la cadena de suministro puede tergiversarse entre los actores, ya que la información que llega al final no será una comunicación directa del emisor, sino que tendrá que pasar por un conjunto de actores, lo que permitirá interpretaciones subjetivas afectando así el objetivo de la cadena.

Para evitar la tergiversación de la información es necesario el empleo de las tecnologías adecuadas en zonas o puntos estratégicos, en este caso se establecieron las áreas de gestión junto con la trazabilidad como los puntos claves para el empleo de la tecnología IoT. Adicionalmente, el BlockChain es una herramienta clave que garantiza la seguridad de la información suministrada generando así confianza entre los actores.

Trazabilidad: La ausencia de tecnologías que permitan conocer en tiempo real las variables que afectan el producto, generan incertidumbre en los agentes de la cadena, debido a que el tiempo de actuación ante imprevistos que afecten la calidad del producto es corto o nulo. El IoT en este caso pasa a ser una herramienta fundamental para la adquisición de la información de los factores físicos, pues proporciona información en tiempo real y todos esos datos son almacenados en el BlockChain con el fin de proporcionar seguridad a la información adquirida y garantizar la veracidad.

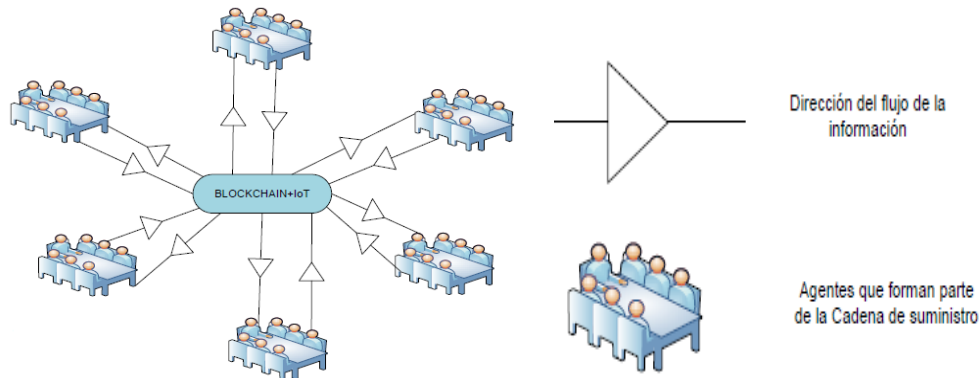


Figura 4 – Flujo de la información en la Cadena de Suministro con IoT y BlockChain.
Fuente: Autoría propia

En la Figura 4, se puede observar como el IoT facilita la comunicación entre las partes permitiendo que se conozcan entre sí, generando confianza entre los agentes por medio del Blockchain, lo que permite que la información sea completa y verídica, facilitando así el planteamiento de estrategias que estén relacionadas con el objetivo de la cadena.

Planeación: La información proporcionada por la trazabilidad da a los actores de la cadena de suministro una comprensión profunda de lo que quieren los consumidores. Estas habilidades pueden ayudar a las organizaciones a planificar pronósticos de demanda más precisos (Y. Wang et al., 2019).

Una vez obtenidos los históricos proporcionados por la información recogida en la trazabilidad de información, facilitará la visualización de patrones de las variables. Así se podría generar mecanismos preventivos para las diferentes adversidades, tanto internas como externas, por ejemplo, en el caso que existan retrasos, comprender en el momento exacto qué sucedió y su origen, implementando así alternativas de mejora en el futuro para prevenir este tipo de acontecimientos. De esta forma se podría entregar los productos incluso con un tiempo menor en comparación con las entregas anteriores.

Aprovisionamiento: La relación con los proveedores y su gestión permite asegurar que los recursos necesarios estén disponibles oportunamente para cada uno de los procesos de producción, transporte o distribución en la cadena de suministro.

Los contratos inteligentes son protocolos de transacción computarizados que ejecutan los términos de un contrato (Casado-Vara et al., 2018), permiten una ejecución más eficiente estableciendo términos y condiciones de almacenamiento, modificación o entrega para las partes involucradas (Montecchi et al., 2019). La eficiencia puede lograrse a través de la digitalización de documentos, transferencias y la aceleración del flujo de datos, particularmente en el contexto de las actividades transfronterizas (Y. Wang et al., 2019).

Para la gestión de órdenes de pedido se plantea una plataforma que integre sistemas de información, reduciendo así los procedimientos manuales, acelerando así la ejecución del próximo proceso. (Chang, Chen, & Lu, 2019).

Gestión de almacenes: Teniendo en cuenta que los datos depositados en Blockchain son el insumo de la planeación de la cadena de suministro, deben ser de la mejor calidad posible, las condiciones de almacenamiento, las entradas y salidas de materia prima, así como el movimiento dentro de cada almacén pueden ser de interés para la toma de decisiones.

Para los productos perecederos la gestión de almacenes abarca variables prioritarias como la fecha de llegada de materia prima, la procedencia exacta de los lotes, el lugar de almacenamiento y las condiciones ambientales.

El uso de tecnología IoT (internet of things) integrada con Blockchain, proporciona una solución en la cual usando sensores que registren de forma permanente cada característica del proceso, se construye una huella digital para cada producto, lote, caja, etcétera. De esta forma, se realiza control de estas variables a lo largo de la cadena de suministro, generando información para la trazabilidad dentro y fuera del almacén. También permite controlar el stock de materia prima y evitar de esta manera rupturas

de stock debido a incongruencias entre el stock real y el stock del que se tiene constancia (Fernández et al., 2017).

También se plantea la automatización de funciones de almacenamiento y preparación de pedido. El sistema contempla la rotación de inventarios, la ubicación en el espacio y movimiento en el almacén agilizando los procesos logísticos, suministrando los datos adquiridos vía BlockChain y asegurando la reducción del Lead Time al cliente final.

Servicio al cliente: El cliente es cada vez es más exigente con la proveniencia de los productos, por esta razón, es importante generar un certificado de origen de productos que se van a ofertar, para esto se requiere que cada agente de la cadena de suministro administre los diferentes datos sobre las acciones que se ejercieron sobre el producto, de esta forma se le proporciona información que le generará confiabilidad al consumidor. Para lograr que toda esta información llegue al cliente se podría colocar en el producto un código QR, dicho código estará ligado a un bloque del BlockChain.

Gestión de pedidos y distribución: Al tener la información del manejo de cada una de las partes, permitirá que haya mejor comunicación entre los agentes, de esta forma se aumentará la confianza y se proporcionará información para que se puedan generar estrategias relacionadas con la de la cadena de suministro de productos perecederos.

Gestión de existencias: Al proporcionar la información cada uno de los agentes y ser específicos en el tratamiento que se les ha hecho a los productos se podría hacer una diferenciación de los lotes y de esta forma se tendría conocimiento del estado en el que se encuentra cada uno. Si llega haber una eventualidad se sabría con exactitud al lote que hace referencia y de esta forma tomar medidas sin incurrir a muchos costos o generar desconfianza por parte del cliente.

La identificación previamente descrita posibilita la localización de materias primas, insumos, productos intermedios y productos terminados al largo de la cadena de suministro y dentro del sistema productivo proporciona la información necesaria para administrar los recursos para dar cumplimiento en la cantidad y el momento requerido.

5.1. Estructura de la aplicación

Se plantea implementar herramientas tecnológicas como dispositivos con sensores, códigos de identificación por radiofrecuencia (RFID), Código Quick Response (QR), dispositivos GPS y sistemas de monitoreo según la Figura 5.

Los dispositivos con sensores permiten el control de las condiciones ambientales, la identificación QR en productos empacados o en unidades de carga (caja, pallet y demás) que permite la ubicación dentro de la cadena y el GPS la ubicación en tiempo real de unidades de transporte.

Los datos recogidos en estos dispositivos deben ser monitoreados y tratados por sistemas de información que permitan al agente reconocer los datos de interés para que sean almacenados en el BlockChain. Como valor agregado es posible adoptar, plataformas web o aplicativos webs que presenten esta información a cada una de las partes y le permitan calificarla evaluarla o complementar sin alterar el almacenamiento original.

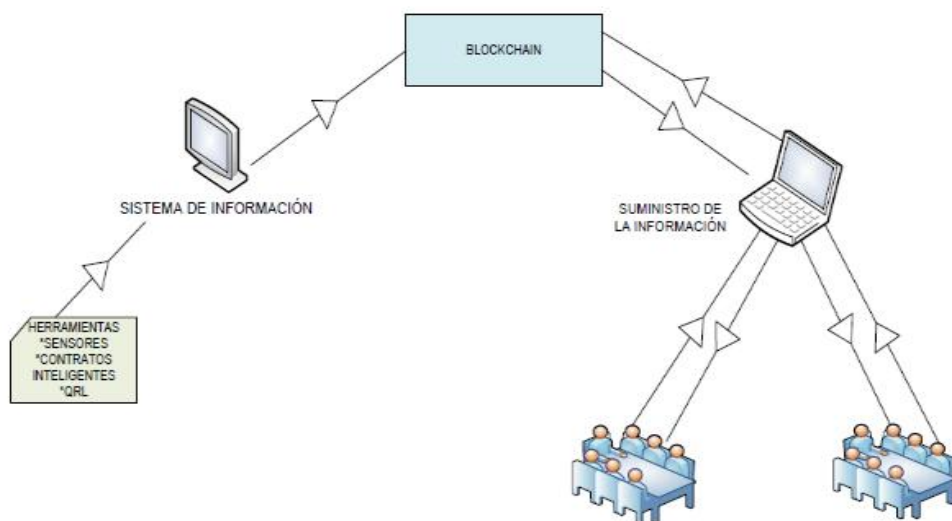


Figura 5 – Estructura del manejo de información. Fuente: Autoría propia

6. Conclusiones

Las cadenas de suministro de productos perecederos son especialmente vulnerables a incurrir en pérdidas por una inadecuada gestión de información. Uno de los factores más relevantes dentro de este tipo de cadenas es el tiempo, debido a la vida útil limitada del producto, si no hay una coordinación eficiente entre los actores se pueden presentar retrasos que ocasionan desperdicios.

Herramientas como el IoT y el Blockchain facilita que los agentes se comuniquen en tiempo real y que los datos administrados estén protegidos sin posibilidad de fraude, permitiendo la fluidez, la eficiencia y la confiabilidad de la información que transita a lo largo de la cadena.

Las soluciones de trazabilidad que ofrece Blockchain fomentan el desarrollo de prácticas comerciales basadas en responsabilidad social y ambiental, proporciona transparencia en el recorrido del producto generando valor agregado gracias a la confiabilidad, no solo para el cliente que lo demanda sino para todos los agentes que participan dentro de la cadena.

La implementación de estas tecnologías permite generar acciones preventivas, por medio de históricos estableciendo pronósticos que dan herramientas para crear estrategias de contingencia y acciones correctivas, disminuyendo el impacto de situaciones emergentes.

Para la aplicación de Blockchain se están desarrollando productos de software a nivel mundial y se evidencia la rapidez con la que avanza gracias a la inversión que se realiza en algunas organizaciones, sin embargo, para su aplicación masiva, hace falta que estos desarrollos estén al alcance de más empresas que aún no lo consideran una opción por el desconocimiento que se tiene de la tecnología y debido a la desconfianza que representa compartir información relevante para una organización.

Para futuras investigaciones, se propone generar parámetros específicos de aplicación para las condiciones de seguridad, transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro de un producto perecedero específico, evaluando la viabilidad económica de la implementación de estas herramientas.

Referencias

- Ardura, R.-, Artola, M., & Requena, V. I. (2008). *EL COMERCIO ELECTRÓNICO EN PERSPECTIVA: DINÁMICA Y DESENCADENANTES ELECTRONIC COMMERCE IN PERSPECTIVE: DYNAMICS AND DRIVERS* (Vol. 14).
- Azzi, R., Chamoun, R. K., & Sokhn, M. (2019). The power of a blockchain-based supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 135(May), 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.042>
- Banerjee, M., Lee, J., & Choo, K. K. R. (2018). A blockchain future for internet of things security: a position paper. *Digital Communications and Networks*, 4(3), 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.006>
- Calvo-Dopico, D. (2015). Implantacion de la trazabilidad y su relacion con la calidad: marco conceptual y retos estrategicos. Aplicacion al sector pesquero. *Economia Agraria y Recursos Naturales*. <https://doi.org/10.7201/earn.2015.01.05>
- Casado-Vara, R., Prieto, J., La Prieta, F. De, & Corchado, J. M. (2018). How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain. *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.193>
- Castillo Mateo, B., Tamayo Torres, J., Cabeza Pullés, D., Roldán Bravo, M. I., & Ruiz Moreno, A. (2016). FACTORES CLAVE PARA LA BÚSQUEDA DEL APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL EN LA CADENA DE SUMINISTRO: UNA APROXIMACIÓN TEÓRICA. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época*, (1). <https://doi.org/10.17561/ree.voi1.2952>
- Chang, S. E., Chen, Y. C., & Lu, M. F. (2019). Supply chain re-engineering using blockchain technology: A case of smart contract based tracking process. *Technological Forecasting and Social Change*, 144(March), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.015>
- Fernández, D., Ángel, H., & Municio, G. (2017). *Aplicación de la tecnología BlockChain en el Supply Chain en los Sectores Industriales*.
- Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). Blockchain technology for security issues and challenges in IoT. *Procedia Computer Science*, 132, 1815–1823. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.140>
- Li, H., & Womer, K. (2008). Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints. *International Journal of Project Management*, 26(6), 646–654. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.08.004>

- Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., d'Atri, G., & Forte, M. (2019). Blockchain-enabled supply chain: An experimental study. *Computers and Industrial Engineering*, 136(July), 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.026>
- Montecchi, M., Plangger, K., & Etter, M. (2019). It's real, trust me! Establishing supply chain provenance using blockchain. *Business Horizons*, 62(3), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.008>
- Navarro, B. Y. (2017). Blockchain y sus aplicaciones. *Universidad Católica Nuestra Señora de La Asunción*. Retrieved from <http://www.universidadcatolica.edu.py/>
- Pérez Mantilla, Freddy Andrés; Torres, F. (2014). Inventory models with deteriorating items: A literature review. *Ingeniería*, 19(2), 9–40. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/4988/498850179002.pdf>
- Rivera, E., Llanes, A., & Pérez, L. (2016). Aportes Sobre El Control De Gestión De La Cadena De Suministro a La Asignatura Logística Contributions on Management Control of Supply Chain To the Logistics Subject. *Cuba*, 19(47), 1608–3784. Retrieved from <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/pedagogia-y-sociedad/article/viewFile/503/404>
- Salas, K., Manguel, H., & Acevedo, J. (2017). Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro Inventory Management Methodology to determine the levels of integration and collaboration in supply chain. *Revista Chilena de Ingeniería*, 25(2), 326–337. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v25n2/0718-3305-ingeniare-25-01-00326.pdf>
- Sanabria Coronado, L. A., Peralta Lozano, A. M., & Orjuela, J. A. (2017). Modelos de Localización para Cadenas Agroalimentarias Perecederas: una Revisión al Estado del Arte. *Ingeniería*, 22(1), 65. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a04>
- Sánchez, A. M. (2016). *Suministro Y La Capacidad*.
- Saveen A. Abeyratne, R. P. M. (2016). Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(09), 1–10. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Validi, S., Bhattacharya, A., & Byrne, P. (2014). A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system—A multi-objective approach Author's Accepted Manuscript A Case Analysis of a Sustainab. In *International Journal of Production Economics* (Vol. 152). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.003>
- Vianchá Sánchez, Z. H. (2014). Models and configurations of supply chains in perishable goods. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(1), 138–154. <https://doi.org/10.14482/inde.32.1.4577>

- Wang, H., Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., & Chen, X. (2018). Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352. <https://doi.org/10.1504/ijwgs.2018.10016848>
- Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002>
- Wilson, M., & Ortega, P. (2016). *GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO SUPPLY CHAIN MANAGEMENT Y LOGÍSTICA EN COLOMBIA*.
- Zhao, J., & Zhao, H. (2018). Design of prototype system for multi-agent supply chain information sharing benefit distribution management. *Information Systems and E-Business Management*. <https://doi.org/10.1007/s10257-018-0386-y>

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, propriedade da AISTI (Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (<http://www.risti.xyz>).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, propiedad de la AISTI (Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información), centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

Lo envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (<http://www.risti.xyz>).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.

Os asociados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correio postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aistic@gmail.com

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aistic@gmail.com



Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 35€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: ____/____/____ Assinatura/Firma: _____



Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

